

**Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos
procedentes del sector agroindustrial en América del Sur:
Provincia de Chimborazo (ECUADOR)**



Irene del Carmen Gavilanes Terán

2014



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos
procedentes del sector agroindustrial en América del Sur:
Provincia de Chimborazo (ECUADOR)**

VºBº DIRECTOR

VºBº CO-DIRECTOR

Concepción Paredes Gil

Aurelia Pérez Espinosa



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. Irene del Carmen Gavilanes Terán**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (Ecuador)”, bajo la dirección de D^a. Concepción Paredes Gil y la codirección de D^a. Aurelia Pérez Espinosa, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 28 de enero de 2014

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos


Fdo.: Concepción Paredes Gil
Miguel Hernández
DE ELCHE
ORIHUELA
DEPARTAMENTO DE
AGROQUÍMICA Y
MEDICAMENTO

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES:

Autor: Irene del Carmen Gavilanes Terán

Título: Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR)

Directores: Concepción Paredes Gil y Aurelia Pérez Espinosa

Año: 2014

Titulación: Doctora en Química (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo- Ecuador)

Tipo de trabajo: Experimental

Palabras clave: Residuos agroindustriales; nutrientes de las plantas; polifenoles; metales pesados.

Keywords: agroindustrial wastes; plant nutrients; polyphenols; heavy metals

Nº citas bibliográficas: 69

Nº de tablas: 14

Resumen:

La provincia de Chimborazo ecuatoriana se encuentra ubicada en la zona central del Corredor Interandino. Las principales agroindustrias de esta provincia están relacionadas con la producción de hortalizas, carne, plantas ornamentales, harina de diferentes cereales y madera. La gestión de los residuos provenientes de las agroindustrias no está optimizada, con las consecuencias ambientales asociadas. En este experimento, 27 muestras de diferentes tipos de residuos agroindustriales de origen vegetal y de la industria de procesamiento de alimentos de origen animal, industria de la madera y la producción de plantas ornamentales fueron caracterizados mediante la determinación de diversos parámetros, tales como: pH, conductividad eléctrica, aniones solubles en agua, materia orgánica, carbono orgánico total (Corg); nitrógeno total (Nt), la relación C / N, carbono soluble en agua (Chidro), polifenoles solubles en agua, macro y micronutrientes, elementos potencialmente tóxicos y el índice de germinación (IG). Los resultados mostraron que, en general, los residuos agroindustriales se caracterizaron por el pH ácido, bajos valores de CE y altos contenidos de materia orgánica. Los macro y micronutrientes y las concentraciones de metales pesados fueron más altos en los desechos agroindustriales de origen animal que en los residuos agroindustrias de origen vegetal. La mayor parte de los residuos estudiados mostraron valores de la relación C / N y del IG, así como contenidos Chidro, que indicaron una falta de estabilidad de la materia orgánica.

Abstract:

The Ecuadorian province of Chimborazo is located in the central area of inter-Andean corridor. The main agroindustries in this province are related to the production of vegetables, meat, ornamental plant, flour of different cereals and wood. The management of the wastes from these agroindustries is not optimized, with the environmental

consequences associated. Therefore, the aim of this work was to carry out the characterization of the different organic wastes from agroindustry in order to evaluate their potential use as soil amendments. In this experiment, 27 samples of different types of agroindustrial wastes from vegetable and animal food-processing industry, wood industry and ornamental plant production were evaluated on pH, electrical conductivity, water-soluble anions, organic matter; total organic carbon (Corg); total nitrogen (Nt), C/N ratio, water-soluble carbon (Cw), water-soluble polyphenols, macro and micronutrients, potentially pollutant elements and germination index (GI). The results showed that, in general, the agroindustrial residues were characterized by acidic pH and low EC values and high organic matter contents. The macro and micronutrient and heavy metal concentrations were higher in the animal agroindustrial wastes than in those from vegetable agroindustries. Most of the studied wastes showed values of C/N ratio and of GI, as well as Cw contents, which indicated a lack of stability of their organic matter.



Agradecimientos

A Dios por darme la vida y la fuerza necesaria para día a día alcanzar mis sueños

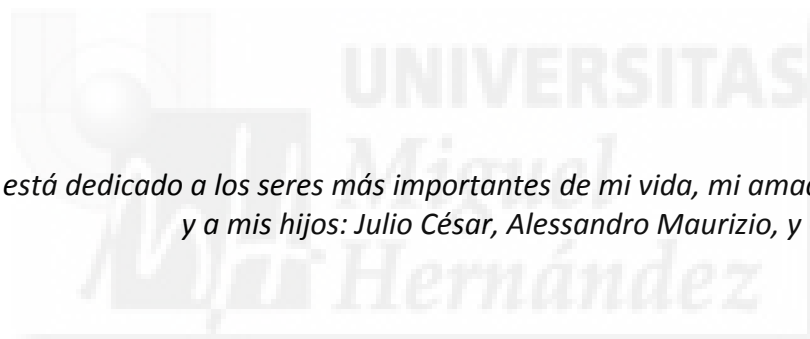
A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología, e Innovación del Ecuador "SENESCYT", por el aporte económico brindado durante el desarrollo de la investigación, como parte de mis estudios de Doctorado

A Concepción Paredes Gil, y Aurelia Pérez Espinoza, Directora y Co-Directora del Trabajo de Fin de Máster, por su amistad y apoyo científico

Al departamento de Agroquímica y Medioambiente de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández de Elche, por su invaluable contribución científica y tecnológica

Al cuerpo Docente del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos, por los conocimientos impartidos a lo largo del desarrollo del Máster

A mis padres, mis amados esposo e hijos, por su tiempo, paciencia y apoyo incondicional.



Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a los seres más importantes de mi vida, mi amado esposo Julio, y a mis hijos: Julio César, Alessandro Maurizio, y Gabriel Andrés.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS AL SUELO

1.1.1 Participación de la materia orgánica en la formación del suelo

La materia orgánica (MO) del suelo procede mayoritariamente de los restos de tejidos vegetales, y secundariamente, de los residuos animales. Por medio de los procesos fotosintéticos, el carbono procedente del CO₂ del aire pasa a los componentes orgánicos de la planta. Los tejidos vegetales vivos están constituidos en promedio por 75% de agua y un 25% de materia seca, formada a su vez por un 10% de componentes minerales, siendo el resto componentes orgánicos.

A nivel de elementos químicos, los componentes orgánicos de los tejidos vegetales están formados, en orden de importancia creciente, por hidrógeno, carbono y oxígeno, que constituyen del orden del 90% seguidos de nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio y una serie de elementos que las plantas requieren en cantidades muy pequeñas y constituyen los microelementos o micronutrientes. Todos estos elementos químicos se hallan integrados en estructuras tales como: hidratos de carbono (30-80%), ligninas (10 a 30%) fenoles polimerizados, proteínas (1 a 15%) péptidos polimerizados, ceras, grasas, resinas y otros (1 a 8%).

La acción de las sustancias orgánicas es responsable en gran medida de la formación del suelo y existen motivos para considerar que los pioneros en dicho proceso son los microorganismos, los cuales constituyen un eslabón fundamental en el ciclo del hierro, azufre, calcio, silicio, fósforo, y otros elementos (Romera, 2013).

La acción de la materia orgánica sobre la roca madre se intensifica con la población de los suelos primitivos por las plantas superiores. Se conocen casos de trituración mecánica de rocas por las raíces de plantas superiores y, asimismo, de disolución de minerales por las secreciones radiculares. Estas secreciones contienen compuestos orgánicos con propiedades quelatizantes (aminoácidos, ácidos orgánicos, aminas y otros), que cumplen un rol en el proceso de erosión y en el ciclo de sustancias (hierro, cobre, manganeso y otros).

La heterogeneidad del perfil del suelo es el resultado de la alteración de la roca madre y de la redistribución del material en el proceso de formación del suelo. Un papel bastante importante en estos fenómenos tiene la materia orgánica del suelo.

Sólo una pequeña parte de estas últimas está presente en estado libre; la porción predominante está unida a la parte mineral del suelo. Las posibles formas de unión con la parte mineral del suelo fueron sistematizadas en los años treinta por Tyurin (1937), Springer (1936), I.F. Tyulin (1938), aunque con posterioridad se realizaron otras clasificaciones para los distintos suelos.

Ya en el siglo pasado diversos investigadores hablaron sobre el papel de la estructura en la creación de los regímenes hídrico, aéreo y nutricional favorables a la

planta, y señalaron la importancia que tienen los sistemas radiculares de las plantas, el humus y la fracción limosa del suelo, en el proceso de formación de esta estructura.

El proceso de formación de la estructura consta de un complicado mecanismo, sobre el cual tiene influencia el complejo de condiciones del medio suelo: composición mecánica y mineralógica, naturaleza del humus, carácter de interacción entre la parte mineral y orgánica, condiciones de humedad y acción mecánica.

Las diferencias en la construcción de los agregados estructurales se han revelado con evidencia en distintos tipos de suelos, y dependen tanto de la naturaleza del humus como de la parte mineral del suelo.

Junto con la participación indudable de las sustancias húmicas propiamente dichas en la formación de agregados hidrorresistentes, muchos autores señalan el importante papel en este proceso de una serie de compuestos orgánicos de naturaleza individual que forman parte de los cuerpos microbianos y de los productos de su metabolismo. Así, muchos autores han establecido que el micelio de hongos microscópicos (*Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, y otros), envolviendo las partículas de tierra, obstaculiza el derrubio de éstas. Pero este fenómeno es de carácter efímero y cesa al desaparecer la microflora fúngica. Solamente en los casos en que el micelio de los hongos se transforma en productos estables de humificación, los agregados conservan durante largo tiempo la resistencia respecto al agua. En la creación de la estructura hidrorresistente son de gran efectividad los mucílago bacterianos, en particular los formados por representantes de *Pseudomonas*.

En general podemos decir que la mayoría de los microorganismos, cuyos productos de metabolismo participan en la formación de una estructura hidrorresistente, son aerobios. Por eso, las afirmaciones de algunos autores sobre la posibilidad de formación de la estructura del suelo bajo plantas anuales en condiciones aerobias, son indudablemente fundamentales.

La materia orgánica del suelo juega un papel importante como fuente de CO₂ para las plantas, ya que las plantas utilizan los elementos nutricionales en condiciones del ciclo biológico y geológico de materias, de manera que, la acumulación de elementos dispersos en la atmósfera, hidrosfera y corteza terrestre por los organismos autótrofos y heterótrofos en formas de materia viva, y la liberación de dichos elementos, representa en sí un ciclo biológico de sustancias que se desarrolla en la trayectoria del ciclo geológico. Después de la muerte, la descomposición de los organismos vegetales y animales no es total hasta los productos finales de mineralización, sino que va acompañada de una nueva formación de sustancias complejas de naturaleza orgánica (turberas, carbones fósiles, sapropelas, petróleo, sustancias húmicas del suelo) que poseen mayor resistencia a la descomposición de los restos orgánicos originales.

La materia orgánica contribuye al crecimiento de la vegetación determinando las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo. La MO proporciona nitrógeno, fósforo, azufre para el crecimiento de la vegetación sirve como fuente de energía para los organismos de la microflora, y microfauna del suelo fomenta la buena estructura de éste.

El humus también influye indirectamente en la absorción vegetal de micronutrientes y cationes de metales pesados y en el funcionamiento (disponibilidad) de los herbicidas y otros productos químicos agrícolas.

La MO proporciona casi todo el nitrógeno, 50-60% del fósforo, tal vez hasta el 80% del azufre y una gran parte del boro y molibdeno absorbido por las plantas en suelos de regiones templadas y sin fertilizar. Indirectamente, la MO determina el suministro de nutrientes minerales procedentes de otras fuentes. La cantidad de N_2 que fija la bacteria de vida libre *Azobacter*, por ejemplo se relaciona con la cantidad de fuente de energía fácilmente disponible en el suelo, como los carbohidratos de la MO (Bohn et al., 1995).

En los suelos húmicos, el carbono, nitrógeno y azufre se encuentran predominantemente en los compuestos orgánicos. Al incrementar la aridez, la cantidad de materia orgánica disminuye y, a su vez tiende a incrementarse la cantidad de las formas inorgánicas de los elementos (carbonatos, sulfatos y nitratos). El carbono proporciona la energía para la reducción del nitrógeno y el azufre, al igual que la matriz de compuesto dentro de la cual el nitrógeno y el azufre se encuentra entre los nutrientes que rigen el crecimiento de las plantas y la fotosíntesis. La disponibilidad de muchos cationes como micronutrientes también está determinada fuertemente por la MO. Diversos componentes de la materia orgánica de pesos moleculares bajos (por ejemplo, ácido fúlvico), forma complejos estables (quelatos) con Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , y otros cationes polivalentes. Los quelatos protegen a los cationes contra las reacciones de hidrólisis y precipitación. La precipitación inorgánica, particularmente en suelos de pH altos, reduce enormemente la solubilidad y disponibilidad de muchos micronutrientes.

La MO también puede combinarse con los iones tóxicos como Cd^{2+} y Hg^{2+} al igual que con cationes de micronutrientes a altas concentraciones y reducir su disponibilidad o aprovechamiento.

El humus ejerce cierta influencia en la estructura del suelo y consecuentemente en su cultivo, aireación y retención de humedad. El deterioro de la estructura que acompaña a un cultivo intenso, comúnmente es menos severo en suelos provistos convenientemente de humus. Cuando el humus se pierde, los suelos tienden a endurecerse, a compactarse y a formar terrones. El humus modifica la aireación, la capacidad de retención de agua y la permeabilidad. La adición frecuente de residuos orgánicos de fácil y rápida descomposición conduce a la síntesis de compuestos orgánicos complejos (polisacáridos) que aglutinan las partículas del suelo en grandes agregados. La asociación íntima de partículas del tamaño de la arcilla (silicatos laminares) con el humus vía puentes de cationes (Ca, Al, Mg, Fe) también propicia esta agregación. Las sales del ácido húmico, insolubles en agua (con cationes polivalentes) se denominan humatos. Tienden a ser amorfos. Los suelos pesados (arcillosos) en particular, se benefician con las adiciones de materia orgánica a través del fomento de la agregación de partículas y la estructura granular del suelo. La agregación produce una estructura granular, abierta y suelta que permite una buena permeabilidad al aire y al agua.

El humus también absorbe grandes cantidades de agua. El humus completamente sintetizado de un suelo mineral, absorbe aproximadamente de 80 a 90% de los enormes

agregados de suelo, conservando el agua disponible para la vegetación. Este incremento en la capacidad de retención de agua aprovechable por la vegetación es uno de los beneficios principales que producen las adiciones de materia orgánica a los suelos extremadamente arenosos.

El contenido de la MO es el factor del suelo más directamente relacionado con la sorción de la mayoría de los herbicidas y de muchos compuestos orgánicos. Los productos químicos orgánicos se asocian con la fracción orgánica de los suelos. De esta forma, el contenido de MO determina el comportamiento de los plaguicidas del suelo, incluyendo la efectividad contra la especie a la que se destinó, la fitotoxicidad de los cultivos posteriores, la capacidad de lixiviación, la volatilidad y la biodegradabilidad.

La principal parte del nitrógeno en las capas superiores del suelo está representada por formas orgánicas, sin embargo, en los horizontes inferiores una parte considerable se encuentra en forma de NH_4^+ , adsorbido por el retículo cristalino de los minerales arcillosos. Stevenson relaciona la presencia de nitrógeno en las capas inferiores con el pasado de la Tierra, y afirma que éste se incorporaba con las precipitaciones atmosféricas y fue fijado por las rocas aun antes de que se transformaran en suelo.

La naturaleza de los compuestos organofosforados no está del todo clara. La forma más difundida de P_2O_5 es la fitina, que representa el producto de interacción del ácido fosfórico con el inositol (alcohol cíclico hexatómico) y sales de calcio y magnesio. La fitina constituye el 30-38 % de toda la reserva de fósforo orgánico en el suelo. El segundo grupo son los ácidos nucleicos, cuya cantidad total es aproximadamente el 10 % de la reserva de P_2O_5 en formas orgánicas. Entre los ácidos nucleicos han sido identificados el desoxirribonucleico (DNA) y el ribonucleico (RNA), evidentemente de origen microbiano. Algunas formas orgánicas del fósforo, especialmente la fitina, pueden asimilarse por las plantas directamente, o después de ser desintegradas por los fermentos, que contienen las secreciones radiculares de la planta.

Se sabe muy poco referente a las formas orgánicas del azufre en los suelos, aunque sí es seguro que la principal fuente de estas formas son los restos de animales y plantas, así como el plasma de los microorganismos, en los cuales el azufre forma parte de los distintos compuestos, entre ellos las proteínas y los aminoácidos. Por su participación en la formación de las sustancias húmicas, puede explicarse la presencia en éstas de aminoácidos que contienen azufre, metionina y cistina.

Por lo anteriormente mencionado se puede establecer la importancia que tiene la MO en la formación del suelo.

1.1.2 Características físicas

El suelo es un sistema mecánico complicado que consta de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La masa de la fase sólida, que ocupa el cincuenta por ciento aproximadamente del volumen total consiste fundamentalmente en los materiales minerales y cierta cantidad de materia orgánica, ésta es elevada solo en suelos orgánicos. El resto del volumen que constituye el espacio poroso o vacío, está ocupada por las fases

líquidas y gaseosa cuyas proporciones varían recíprocamente entre sí y fluctúan en forma considerable bajo condiciones climáticas y prácticas naturales de administración. Por lo tanto, la proporción de los cuatro componentes principales del suelo (partículas inorgánicas, materia orgánica, agua y aire), varían mucho de acuerdo con las clases diferentes de suelos, con el lugar y también con la profundidad del suelo. No obstante, en general los cuatro componentes esenciales existen íntimamente mezclados (Tamhane et al., 1979).

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks et al., 2004). Las propiedades físicas de un suelo dependen de la cantidad, tamaño, forma y disposición mineral de sus partículas; de la clase y cantidad de materia orgánica, del volumen y forma de sus poros y de la manera en la que están ocupados por el agua y el aire en un momento dado.

La materia orgánica tiene incidencia sobre las propiedades físicas del suelo, favoreciendo los siguientes procesos (Porta et al., 2003):

- Estructuración (formación y estabilidad de agregados)
- Reducción del sellado y encostramiento de la superficie del suelo
- Porosidad y aireación
- Movimiento del agua en el suelo
- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas
- Facilidad de laboreo
- Oscurecimiento de la superficie de los suelos
- Prevención de los procesos erosivos, por efecto combinado sobre la estabilidad de la estructura, el sellado y la infiltración.

1.1.3 Características químicas

Las características químicas del suelo son sumamente importantes, pues de ellas depende el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrientes asimilables para la planta y las características de los suelos.

El rendimiento de un cultivo es afectado por diversos factores, entre los que ocupa un lugar importante la disponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas en el suelo. Cuando estos nutrientes no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de adicionar fertilizantes químicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversa. A lo largo del siglo XX, tanto la mejora genética de plantas, como la

mecanización agraria y el uso de agroquímicos han contribuido enormemente a aumentar la producción agrícola. No obstante, ahora se sabe que es necesario conocer mejor las bases científicas del comportamiento de unos y otros, para utilizarlos con criterios que garanticen la seguridad alimentaria de la población. La Química del suelo se ocupa de la composición química, de las propiedades químicas y reacciones y del comportamiento del suelo como sistema de tres fases (Casanella y Acevedo-Reguerin, 2011).

Los elementos químicos se pueden encontrar en el suelo como componentes de la fase sólida (en las redes cristalinas de los minerales y en las moléculas de la materia orgánica); en la fase líquida (en disolución); en la interface entre las partículas sólidas y el agua del suelo; y en la fase gaseosa. La forma en la que se encuentra un elemento químico condiciona su reactividad, movilidad y biodisponibilidad. La biodisponibilidad de un elemento o compuesto expresa que puede ser utilizado por un organismo específico y ser incorporado a su metabolismo, con efectos que puedan ser positivos o negativos. La biodisponibilidad de los diferentes elementos químicos incide en gran medida en la calidad de un suelo y en la respuesta de las plantas, y resulta esencial para los nutrientes de las plantas y es especialmente relevante cuando se trata de elementos potencialmente tóxicos que, son absorbidos por ellas, pues pasan a la cadena alimentaria.

Los elementos esenciales para las plantas son aquellos sin los cuales una planta no es capaz de completar estadio de desarrollo (Cresser et al., 1993). Según la cantidad que necesitan las plantas de cada elemento, se distinguen entre macronutrientes (N, P, K, S, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Cl, Se, Li), para algunas plantas, alguno más como es el caso del silicio para las gramíneas (Tabla 1).

Tabla 1. *Macro y Micronutrientes del suelo necesarios para las plantas*

Elemento	Forma catiónica	Forma aniónica	Otras formas
Nitrógeno	NH_4^+	NO_3^- , NO_2^-	N-orgánico
Fósforo		HPO_4^{2-} ; H_2PO_4^-	P-orgánico
Potasio	K^+		
Azufre		SO_4^{2-} , S^{2-}	S-orgánico
Calcio	Ca^{2+}		
Magnesio	Mg^{2+}		
Hierro	Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$		Complejos orgánicos
Manganeso	Mn^{2+}		Complejos orgánicos
Cobre	Cu^{2+}		Complejos orgánicos
Zinc	Zn^{2+}		Complejos orgánicos
Molibdeno		MoO_4^-	
Boro		$\text{B}(\text{OH})_4^-$	H_3BO_3
Cloro		Cl^-	
Cobalto	Co^{2+}		
Selenio		SeO_4^{2-} , SeO_3^{2-} , Se^{2-}	

Fuente: (Cresser et al., 2009)

La materia orgánica tiene incidencia sobre las propiedades químicas del suelo produciendo los siguientes efectos (Porta et al., 2003):

- Procesos de intercambio iónico: elevada superficie específica y elevada capacidad de intercambio catiónico
- Capacidad tampón frente a los cambios de pH
- Estabilización de los nutrientes en forma orgánica (N ,P y S)
- Formación de complejos organominerales
- Interacciones con xenobióticos
- Papel depurador frente a vertidos, al regular la movilidad y la biodisponibilidad de productos

1.1.4 Características biológicas

Los organismos del suelo son importantes pues mantienen procesos en el almacenamiento de carbono, los ciclos de nutrientes y la diversidad de especies de plantas. En el suelo se encuentran bacterias, hongos, protozoarios, ácaros, coleópteros, hormigas, nematodos, miriápodos, colémbolos, rotíferos, larvas, lombrices y otros microorganismos que intervienen en la transformación de la materia orgánica e inorgánica del suelo. Los organismos del suelo constituyen la biomasa microbiana, en la cual se incluye: a la microflora (bacterias y hongos) y a la fauna. Podemos categorizar a los organismos del suelo en: organismos heterótrofos (aquellos que utilizan a los compuestos orgánicos complejos como fuente de energía y carbono); organismos autótrofos (aquellos que usan dióxido de carbono como única fuente de energía); bacterias fotoautótrofas (aquellas que utilizan la energía solar); y bacterias quimioautótrofas (aquellas que utilizan la energía de la oxidación de la materia orgánica).

La actividad de los microorganismos es muy importante para la transformación y la vida de los suelos. Las bacterias y los hongos participan en los ciclos del carbono, nitrógeno, azufre, fósforo y en la incorporación del potasio y el magnesio, entre otros, para su asimilación por las plantas (Carrillo, 2003). La biodiversidad del suelo juega un papel en la fertilidad del mismo, en su rehabilitación, en la absorción de los nutrientes por las plantas, en los procesos de biodegradación, en la reducción de residuos peligrosos y en el control de plagas de forma natural. Por otro lado, los microorganismos del suelo aumentan la productividad de los cultivos a través de:

- Reciclaje de nutrientes como N, P, K y Ca.
- La descomposición de la materia orgánica, la infiltración del agua, y la reducción de la superficie de escorrentía y de aireación.
- Ecológicamente, la biota del suelo regula varias funciones críticas. La reducción excesiva de la biodiversidad del suelo, especialmente la pérdida de especies claves y/o especies ecológicas en cascada, al conducir a un deterioro a largo plazo de la fertilidad del suelo y a la pérdida de la capacidad productiva agrícola.

Los procesos biológicos más importantes que se dan en el suelo son:

- Humidificación, que es la descomposición de la materia orgánica por hongos, bacterias, actinomicetos, lombrices y termitas.

- Transformaciones del nitrógeno, amonificación, nitrificación, fijación.
- Mezcla-desplazamiento, de lombrices y termitas principalmente.

Según las condiciones climático-ambientales del suelo, se desarrolla la vegetación que formará el ecosistema. Dicho subsistema cumple ciclos estacionales donde se van depositando residuos de hojas y ramas en la superficie, o de raíces en el interior del suelo. De estos residuos se sirven la fauna y la microflora del suelo, de donde extraen la materia y energía para su ciclo vital a través de un conjunto de procesos donde intervienen organismos consumidores, transformadores, y descomponedores, siguiendo una cadena trófica, la cual es propia de cada sistema, dando como resultado: la descomposición de la materia orgánica liberando elementos químicos, la formación de productos intermedios de mediana complejidad, productos altamente complejos: sustancias húmicas.

Por lo que el medio donde se desarrollan los microorganismos telúricos presentes en el suelo está dividido en una multitud de microambientes donde las condiciones pueden ser muy diferentes unas de otras, confiriéndole un micro heterogeneidad inusual. El soporte orgánico y mineral no es inerte y los diversos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo están íntimamente intrincados. La energía necesaria para el desarrollo de los microorganismos heterótrofos, que son la mayoría de las micropoblaciones del suelo, proviene indirectamente de la fotosíntesis. Hay también una microfauna que a veces interviene activamente al lado de la microbiota (Dommergues y Mangenot, 1970). El suelo está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y seres vivos. La cantidad de estos constituyentes no es la misma en todos los suelos. El aire y el agua juntos representan aproximadamente la mitad del volumen del suelo. El agua que se mueve por la gravedad se encuentra en los poros más grandes del suelo, que frecuentemente están llenos de aire. Parte del agua es retenida por interacciones con otros constituyentes del suelo y sólo una fracción de ésta es aprovechable por los organismos vivos. La aireación y la humedad están directamente relacionadas ya que los poros que no contienen agua están llenos de gas.

La atmósfera subterránea es diferente de la superficial porque contiene generalmente de diez a cien veces más CO_2 , y menos O_2 , debido a la actividad biológica (Fenchel et al., 2000).

En la Tabla 2 se presenta la distribución de microorganismos en función de las diferentes profundidades del suelo. Como se puede observar, los microorganismos no están distribuidos regularmente en el suelo pues hay un mosaico discontinuo de microambientes, aquéllos favorables para el desarrollo microbiano se caracterizan por su limitada extensión en el tiempo y en el espacio. La dispersión de los microorganismos, con excepción de los fotosintetizantes, sigue la distribución vertical de los nutrientes pero es alterada por varios factores: la composición de la atmósfera del suelo, el pH, la humedad, la cantidad de minerales asimilables, la presencia de sustancias antimicrobianas.

Tabla 2. *Distribución de los microorganismos en un suelo expresado como miles por gramo*

Profundidad (cm)	Bacterias aerobias	Bacterias anaerobias	Actinomicetos	Hongos	Algas
3-8	7.800	1.950	2.080	119	25
20-25	1.800	379	245	50	5
35-40	472	98	49	14	0,5
65-75	10	1	5	6	0,1
135-145	1	0,4	...	3

Fuente: (Carrillo, 2013)

Las interacciones entre los vegetales y los microorganismos del suelo se manifiestan de modo especial en zonas que están en contacto con las raíces o rizósfera. La microbiota es modificada por la estimulación, en algunos casos inhibición, debida a los exudados radicales y los restos tisulares. No solamente la intensidad del efecto rizosférico sino también la intensidad de la colonización del rizoplano, varía en las diferentes partes de un mismo sistema radical.

Las bacterias y los hongos habitan principalmente en los suelos bien aireados, pero solamente las bacterias realizan la mayor parte de los cambios biológicos y químicos en los ambientes anaerobios.

La adición de materia orgánica al suelo produce también efectos sobre las propiedades biológicas del mismo, tales como (Porta et al., 2003):

- Interviene en la formación del suelo
- Constituye una reserva de energía metabólica, por las grandes cantidades de carbono y de nutrientes que contiene
- Fuente de macronutrientes y micronutrientes, que son liberados de forma progresiva
- Estimula e inhibe la actividad enzimática según los casos
- Contiene reguladores de crecimiento de las plantas
- Efectos antibióticos frente a organismos patógenos (efecto biofumigante)
- Contribuye a la resiliencia de los ecosistemas, al disminuir o inhibir los efectos de las perturbaciones ambientales, y de este modo acelera su recuperación

1.1.5 Utilización de residuos orgánicos en agricultura

La concentración de la población en núcleos urbanos, la intensificación de la agricultura y la ganadería en zonas geográficas localizadas y el desarrollo de la industria, especialmente la agroalimentaria, ha contribuido al incremento de la producción de residuos orgánicos en las últimas décadas.

El término “Residuo Orgánico” es muy amplio y engloba a todos aquellos residuos que son biodegradables. El **Real Decreto 1481/2001** de 27 de diciembre (BOE nº 25 de 29/1/2002) define como “**Residuos biodegradables**” a todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel o el cartón. Con esta definición puede englobarse una gran variedad de residuos tales como los de la agricultura, acuicultura,

silvicultura, caza y pesca, los procedentes de la preparación y elaboración de alimentos, los de plantas de tratamiento de residuos o los municipales.

La **Ley 22/2011** de residuos, define como biorresiduo, a los residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesamiento de alimentos.

El Ministerio de Medio Ambiente mediante la orden **MAM/304/2002** publicó la lista Europea de Residuos, que clasifica los residuos en 20 apartados, en función de su origen. Bajo el epígrafe 02 se presentan los residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca y los procedentes de la preparación y elaboración de alimentos. Este apartado engloba a una gran parte de los residuos biodegradables, desde los residuos de las deyecciones de los animales, estiércol y purines (020106), residuos de tejidos animales, como los procedentes de matadero (020202), residuos de tejidos vegetales, incluidos restos de cosechas (020102) y los procedentes de la industria agroalimentaria de elaboración de frutas, hortalizas, aceites, café, cacao, té, industrias conserveras, de elaboración de azúcar, de productos lácteos, de panadería y pastelería, de bebidas alcohólicas (industrias vitivinícolas y cerveza) y no alcohólicas. Otros residuos biodegradables se incluyen dentro del epígrafe 03, correspondiendo a transformaciones de la madera (0301), cortezas, corchos, virutas, serrín; residuos de la transformación y producción de la pasta de papel, papel y cartón (0303). También se incluyen la categoría de 19 tipos de residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyen los residuos de tratamiento aerobio y anaerobio, como son los lodos y los digestados; lixiviados de los vertederos, y residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales (lodos de tratamiento de aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales).

El empleo de residuos orgánicos como fertilizantes orgánicos se incluye dentro de estas prácticas.

El uso de estiércoles como fuente de nutrientes y materia orgánica para los suelos agrícolas ha sido una práctica habitual en la agricultura tradicional. Sin embargo, el cambio en la gestión ganadera a la producción intensiva llevó a la producción mayoritaria de purines en detrimento del estiércol sólido, con una composición diferente (Bernal, 1998). Esto suponía una fuente barata de macro y micronutrientes así como de materia orgánica soluble que actúa mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. No obstante, el aumento en el coste que supone la recogida, manipulación y aplicación del estiércol, junto con su uso inadecuado, ha hecho que se vea mermado su uso como fuente de nutrientes en agricultura.

Los residuos agrícolas han sido tradicionalmente reincorporados al suelo, utilizados como alimento para el ganado o incinerados. Estos, a pesar de sus múltiples inconvenientes, constituyen los tratamientos directos más extendidos.

Antes de establecer las medidas contra incendios en los ámbitos rurales, la quema era el procedimiento más utilizado debido a algunos de sus aspectos favorables que incluyen, entre otros, la destrucción de propágulos de malas hierbas, reducción de parásitos y patógenos, restitución de minerales al suelo y la eliminación rápida del residuo. Sin embargo, esta actividad es poco defendible desde la óptica técnico-científica, pero ha sido, y sigue siendo, bastante usada a nivel de los campos agrícolas de España y Ecuador.

Los residuos de cultivos como los cereales requieren trituración o picado e incorporación superficial al suelo mediante maquinaria.

En lo referente a la utilización como alimento para el ganado, los residuos forrajeros recolectables son destinados específicamente para este fin, pero otros residuos vegetales también pueden ser utilizados. En ocasiones se recomienda utilizar un proceso de ensilado, que consiste en disponer los sustratos en condiciones de anoxia lo que promueve procesos microbianos fermentativos que generan ácidos reduciendo el pH. Esto unido a la ausencia de oxígeno inhibe el crecimiento microbiano permitiendo el almacenamiento de los restos vegetales a largo plazo y, además incrementa su digestibilidad. La aplicación de los residuos vegetales en alimentación debe restringirse a aquellos materiales que puedan presentar contaminantes tales como pesticidas que pasaría al animal y por ende al hombre a través de la cadena trófica.

Los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal pueden ser también empleados en la agricultura como alimento para el ganado, como fertilizantes orgánicos de forma directa o una vez tratados mediante compostaje o digestión anaerobia y para la generación de energía mediante procesos termoquímicos o bioquímicos. Esta energía puede ser empleada en las instalaciones agrícolas (Cegarra y Paredes, 2008).

1.1.6 Riesgos medioambientales de la aplicación de residuos al suelo

Los riesgos medioambientales asociados de forma potencial a los residuos orgánicos y su gestión son principalmente (Navarro et al., 1995):

- Degradación física, química y biológica del suelo
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
- Contaminación atmosférica
- Contaminación de la cadena trófica
- Problemas sanitarios

Degradación física, química y biológica del suelo

El manejo inadecuado de los residuos puede producir una degradación del medio ambiente y de los sistemas agrícolas. El concepto tradicional de degradación de los suelos como pérdida o reducción del potencial productivo resulta en la actualidad insuficiente, pues existen otras formas de degradación que si bien no están orientadas hacia la producción, disminuyen la calidad medioambiental y por tanto la sostenibilidad de los

sistemas. Una alternativa al concepto de degradación de suelos consiste en considerar como degradación cualquier cambio en las propiedades del suelo que ocasione una reducción del margen de actuación de las funciones que un determinado suelo puede desempeñar. Podemos hablar de diferentes tipos de degradación (física, química, biológica) según se produzca una alteración de las dichas propiedades del suelo.

A nivel físico, los potenciales efectos degradativos que pueden producir en el suelo los residuos se pueden resumir en:

- Pérdida de la estructura del suelo, por formación de costras, saturación de poros, y erosión superficial. Esta incidencia está principalmente asociada al enriquecimiento del suelo en cationes monovalentes que producen la dispersión de los coloides del suelo, así como al alto contenido de sólidos en suspensión que contienen algunos residuos líquidos que colmatan los poros del suelo.
- Compactación del suelo debida a la maquinaria de aplicación así como a un inadecuado manejo del suelo.

A nivel químico, los potenciales efectos degradativos que puede producir en el suelo los residuos se pueden resumir en la:

- Contaminación del suelo, por agentes tales como metales pesados, compuestos orgánicos y xenobióticos, contenidos en los residuos aplicados al suelo.
- Salinización del suelo, por acumulación de sales solubles presentes en la composición de los residuos, principalmente aniones tipo cloruros y sulfatos y cationes monovalentes (Na).

A nivel biológico, los efectos degradativos en el suelo se pueden resumir en:

- Alteración de la población biológica del suelo (macrofauna, mesofauna y microorganismos), a nivel cuantitativo así como a nivel relativo al variar el equilibrio existente entre los diferentes tipos de microorganismos del suelo, en función del cambio de las condiciones de éste, por la adición del residuo.
- Entrada de microorganismos ajenos y patógenos al sistema ecológico natural, procedente de los residuos.
- Alteración de los procesos edáficos donde intervienen los microorganismos.

Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

Los riesgos medioambientales que puede generar la gestión inadecuada de los residuos orgánicos sobre las aguas, se pueden resumir en:

- Incremento de la presencia de compuestos nitrogenados, (especialmente nitratos) en la capa freática así como en las aguas superficiales
- Eutrofización de las aguas superficiales debido al enriquecimiento de las aguas en nutrientes.

- Contaminación por amonio y materia orgánica, procedentes de la inadecuada aplicación o el vertido de los residuos.
- Reducción del contenido de oxígeno en las aguas, como consecuencia de la actividad de degradación microbiana asociada a la materia orgánica de los residuos.
- Transformación de las especies químicas, presentes en las aguas como consecuencia del cambio de las condiciones debidas al vertido.

Contaminación atmosférica

El impacto de los residuos orgánicos, especialmente los que proceden de las actividades agropecuarias sobre la calidad atmosférica ha sido una cuestión olvidada hasta hace muy poco tiempo. En los últimos años se ha prestado una mayor atención a los daños que estos gases pueden causar al medio ambiente, en concreto a su contribución a la lluvia ácida, en la destrucción de la capa de ozono o el efecto invernadero.

Los principales aspectos a considerar son:

- La emisión de gases contaminantes (dióxido de carbono, metano, amoníaco, etc.), que se generan en las explotaciones agropecuarias y que tienen la consideración de residuo.
- El impacto de la generación de estos gases, sobre la atmósfera y el medio físico.

Un aspecto a tener en cuenta es el alcance en cuanto a distancias y áreas afectadas, en donde podemos encontrar estos tipos de alteraciones. Los efectos de una emisión pueden manifestarse en áreas muy amplias, mientras que la zona emisora puede presentar consecuencias menores o incluso insignificantes.

Problemas sanitarios

No se pueden excluir los riesgos potenciales sobre la salud, que los diferentes residuos orgánicos pueden suponer, al constituirse en un medio adecuado para la proliferación de patógenos que suelen provenir de la propia excreta de los animales. Se ha determinado un amplio rango de microorganismos y parásitos, siendo algunas bacterias y virus persistentes en estos materiales a través del tiempo.

Los aspectos a considerar son principalmente:

- La incorporación de patógenos al suelo, generando una alteración del ecosistema natural, y alterando los procesos biológicos asociados.
- La transferencia de patógenos a la planta, que supone la principal vía de entrada a la cadena trófica de estos organismos.
- La exposición directa o indirecta de los animales y/o el hombre a estos patógenos, con el riesgo asociado para la salud pública.

Contaminación de la cadena trófica

Por último, hemos de considerar la incidencia que puede generar la mala gestión de los residuos sobre la incorporación de contaminantes de todo tipo a la cadena trófica, como riesgo medioambiental complementario a los anteriormente mencionados. Los riesgos medioambientales, se pueden resumir en:

- Incorporación de metales pesados, productos orgánicos y xenobióticos a las plantas, y por tanto al hombre.
- Contaminación biológica de los vegetales, a través de la presencia de patógenos de forma intra e intercelular.
- Niveles elevados de nitratos en planta, así como de otros iones y metabolitos en concentraciones inadecuadas.



1.2 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Las actividades agroindustriales se pueden considerar dentro de las actividades industriales enumeradas en el anexo I, parte 6,4., letra a),b) y c) de la Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación:

- a) Mataderos con una capacidad de producción de canales superior a 50 toneladas por día.
- b) Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de:
 - Materia prima animal (que no sea leche) de una capacidad de producción de productos acabados superior a 75 toneladas por día.
 - Materia prima vegetal, con una capacidad de producción de productos acabados superior a 300 toneladas por día o 600 toneladas por día en caso de que la instalación funcione durante un período no superior a 90 días consecutivos en un año cualquiera.
 - Materias primas animales o vegetales, tanto en productos combinados como por separado, con una capacidad de producción de productos acabados en toneladas por día superior a (75 si A es igual o superior a 10; [300-(22,5xA)] en cualquier otro caso)
 - Tratamiento y transformación de la leche, con una cantidad de leche recibida superior a 200 toneladas por día.

Estas actividades agroindustriales se pueden incluir dentro de los residuos industriales. Los residuos agroindustriales presentan generalmente características que les hacen especiales, por su composición y cantidad o por la forma en que se generan en los diferentes procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento. Los residuos industriales pueden clasificarse como peligrosos y no peligrosos. Los residuos industriales no peligrosos son aquellos no identificados con un * en la lista Europea de Residuos publicada en la Decisión 2001/118/CE y 2001/573/CE; transpuesta por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, así como los que no tengan la consideración de peligrosos de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 952/1997 de 20 de Junio. Por tanto los residuos agroindustriales están incluidos dentro de los residuos industriales no peligrosos, los cuales constan dentro de los residuos de la preparación y elaboración de alimentos de origen animal y vegetal.

El Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales), constituye desde el 4 de marzo de 2011 el marco legal aplicable a la gestión de todos aquellos materiales de origen animal que por diferentes motivos no se destinan al consumo humano. Esto es importante por cuanto los residuos más característicos de la agroindustria alimentaria son los subproductos de origen animal no destinados a consumo

humano (**SANDACH**), además de los residuos líquidos propios de los distintos procesos industriales y de las emisiones atmosféricas.

Este Reglamento establece las normas sanitarias aplicables a los subproductos derivados no destinados al consumo humano y en el artículo 7, establece la clasificación de los subproductos animales y los productos derivados en categorías específicas que reflejan su nivel de riesgo para la salud pública y la salud animal, de conformidad con las listas establecidas en los artículos 8,9 y 10, de dicho reglamento.

En la zona de estudio la norma técnica ambiental dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, de la Presidencia de la República del Ecuador **“Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, libro VI, Anexo II”**, los residuos no peligrosos corresponden a la denominación genérica de cualquier tipo de producto residual, restos, residuos o basuras no peligrosas, originados por personas naturales o jurídicas, industrias, organizaciones, el comercio, el campo, etc., que pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles.

Por lo que dentro de este TFM se abarcará el estudio de aquellos residuos que cumplan con las características de residuos no peligrosos, según las normas legales mencionadas en apartados anteriores.

1.2.1 Situación de la agroindustria-en la zona de estudio

La producción de residuos agroindustriales se halla estrechamente relacionado con el incremento de la agroindustria, lo que se ve reflejado en los siguientes datos:

El sector alimentario —incluyendo la fabricación de insumos, y la producción, procesado, transporte, comercialización y consumo de alimentos— genera más del 20% de las emisiones totales de GEI a nivel global. Si a esto se suman las actividades forestales y el cambio de uso del suelo, la contribución de emisiones de GEI aumenta al 30% de los totales globales. Un 38% de las emisiones de la agricultura tendría su origen en el uso de fertilizantes nitrogenados, un 31% provendría del metano emitido por rumiantes, y el último tercio correspondería a prácticas de roce, quema y manejo de estiércol, entre otras (IPCC, 2007).

La agroindustria ha tenido un fuerte repunte en la región latinoamericana, a partir del incremento en la demanda global y los precios internacionales tanto de los agroalimentos, como de materias primas para la producción de biocombustibles. Un factor clave es el papel de China y de otros países del sudeste de Asia como compradores de materias primas desde América Latina. La demanda creciente de insumos por parte de estas economías emergentes ha tenido un impacto notorio en las exportaciones de la región y explica la persistente importancia comercial de la extracción de recursos naturales. En el año 2000, el comercio entre América Latina y China alcanzaba los 13 mil millones de dólares; en 2007 fue de 103 mil millones de dólares. Además, cerca del 50%

de la inversión extranjera directa de China se destinó a la región latinoamericana y caribeña (PNUMA, 2010).

La producción de bienes según sectores de actividad económica correspondiente a las industrias de alimentos a nivel de América Latina han tenido un significativo crecimiento. Entre los años 2005 y 2010 los valores, en millones de dólares, de Argentina (11.266,2 – 20.456,7); Bolivia (417,9 – 743,2); Brasil (19.562,5 – 37.639,9); Colombia (1.225,1 – 1.550,7); Ecuador (955,3- 1.513,2), han sido representativos en la evolución de la agroindustria de cada país (CEPAL, 2010).

De igual forma el índice de producción de alimentos en toneladas a nivel de la agricultura ha crecido vertiginosamente, en Argentina de (117 a 125), en Brazil de (129 a 131) entre los años 2005 y 2007 respectivamente. También se observó una variación en el índice de producción de alimentos por habitante entre los países de Sudamérica como Argentina (112 a117); Brasil (120 a 119); Ecuador (106 a 103) entre los años 2005 – 2007 (CEPAL, 2009).

En América Latina, más de 6 millones de km² de tierras (aproximadamente el 30%) sufren procesos de desertificación (FAO, 2008). Estos procesos de desertificación se ven favorecidos por la industria maderera con las altas extracciones de madera, las cuales significaron más de 7 mil millones de dólares para Sudamérica en 2005. El 74% correspondió a madera en rollo de uso industrial (FAO, 2006).

En forma general, la producción agroalimentaria en Sudamérica está creciendo significativamente. La producción anual de desechos industriales por habitante en Sudamérica (considerando 10 países) fue de 6,6 toneladas métricas (OMS, 1997).

Según las Cuentas Nacionales de la Industria Ecuatoriana, en el 2007 el valor agregado de la industria manufacturera sin incluir la refinación de petróleo representó el 13,99% del Producto Interno Bruto (PIB) siendo la industria de alimentos y bebidas la de mayor aporte (7,83% del PIB). Además tiene especial importancia dentro del sector manufacturero pues contribuye con el 55,9% de su valor agregado. De acuerdo a los resultados de la encuesta de Manufactura y Minería del año 2007, la elaboración de alimentos y bebidas es la principal industria del sector manufacturero. En el año de referencia su producción representó el 42,5% de la industria manufacturera, destacándose dentro de la misma la producción, elaboración y conservación de carne, pescado, frutas, legumbres, aceites y grasas. Al desagregar cada una de las industrias que componen el sector de alimentos y bebidas, se destacan las siguientes como las de mayor aporte: elaboración y conservación de productos de pescado (41,8%), elaboración de aceites y grasas de origen vegetal o animal (10,1%), elaboración de piensos preparados (9,1%). El 44,3% del consumo intermedio de la industria manufacturera corresponde al sector de alimentos y bebidas siendo la industria de elaboración y conservación de carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas la de mayor importancia (50,7%). El consumo intermedio contribuye con un 59,8% a la producción total de la industria de alimentos y bebidas. La adquisición de materias primas y materiales auxiliares es el principal componente del consumo intermedio del sector pues representa el 67,2% (Carrillo, 2009).

La provincia de Chimborazo se halla ubicada en el área central del corredor interandino. Esta provincia forma parte de la Zona de Planificación # 3. Cuenta con 5.278 Km² aproximadamente, es decir, el 12% de la Región 3 y el 2% del territorio nacional y ocupa el primer lugar de la Región ecuatoriana con 471 mil hectáreas de tierra utilizada con uso agropecuario. Existe un predominio de páramos que representan el 33% del área con uso agropecuario y que se encuentra en torno al gran nevado Chimborazo, luego están los montes y bosques que ocupan el 14% de la superficie provincial utilizada, seguida de pastos naturales y cultivados que en conjunto son el 22%, aportando cada uno con 11% destinadas a pastoreo lo que convierte a Chimborazo en una provincia de ganadería de leche principalmente.

Chimborazo ha aportado a la Población Económicamente Activa – PEA con el 31% de la Región 3 y el 4% de la fuerza laboral del país, según datos del Censo 2001, y económicamente es la tercera de mayor aporte a la Región 3 con el 19% del Producto Nacional Bruto, en promedio 2004 – 2007, y el 2% a nivel nacional en el mismo período.

Casi la mitad de la PEA de Chimborazo se encuentra concentrada en las zonas rurales y corresponden a un 49,7%, por lo que su principal actividad es la producción agropecuaria, un 8,6% de la PEA está en la industria, 12,6% en el comercio, 15,6% servicios, 3,5% transporte, construcción el 4,7%, servicios financieros el 1,4% y otras actividades el 3,9%. (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011)

Por lo expuestos, se indica que en los últimos 30 años se ha duplicado la generación de residuos sólidos en la región, y se ha producido, además, un cambio en la composición de éstos en detrimento de los residuos orgánicos y por ende biodegradables, y en favor de otros de mayor durabilidad en el ambiente y con una acentuada presencia de sustancias tóxicas (PNUMA, 2000) (ILAC, 2004).

1.2.2 Residuos agroindustriales de origen vegetal

1.2.2.1 Producción

La demanda de los mercados internacionales y nacionales de determinados productos como los cereales y la soja está incentivando el incremento de la superficie agrícola. Esta transformación está debilitando la producción de alimentos básicos y obligando a incrementar significativamente las importaciones agrícolas (FAO, 2007). De esta forma, la producción promedio per cápita de cultivos como yuca, papa, trigo y arroz están disminuyendo mientras se incrementa la producción de productos como aceites (soja, girasol y palma africana), maíz (en especial para uso industrial), frutas tropicales, hortalizas y en menor proporción, azúcar (CEPAL, 2007).

En la industria ecuatoriana resalta el sector agroindustrial, la importancia de este sector en el país se debe principalmente a tres aspectos; primero, por su representatividad en el PIB; segundo, por constituir una fuente de divisas a través de la exportación tanto de productos tradicionales como: banano, café y cacao, así como de nuevos como el mango, espárragos, naranjilla y flores. Finalmente, por constituir la base

de la política de soberanía alimentaria promovida por la actual Constitución en el Art. 281.- “La Soberanía Alimentaria” (INEC, 2011).

La producción de cereales es importante en la provincia de Chimborazo, sobre todo aquellos destinados al mercado interno: maíz suave, cebada, trigo, chocho y quinua. La mayor parte de estos cereales se destinan para la producción de harinas. El trigo y la cebada son productos transables, sin embargo, los niveles de producción no abastecen la demanda interna del Ecuador, ya que representan apenas el 4% del consumo total nacional, por lo cual el país se abastece de importaciones. Sin embargo, en los dos últimos años, el Estado ha emprendido un programa de apoyo a la producción de trigo para incentivar la producción y cubrir un mayor porcentaje del déficit interno del producto. En el caso de chochos su consumo es interno, ya que no cumple con los requisitos especialmente sanitarios para su exportación. La Quinua es un producto direccionado al mercado interno y externo, es un producto característico de los mercados diferenciados (producción orgánica), que ha tenido un desarrollo promisorio en Chimborazo, que se destina en una gran parte a la exportación, a través de programas asociativos y como producto diferenciado, con una producción más orgánica. Chimborazo es la principal provincia productora en el país con 447 hectáreas de cultivo y luego Cotopaxi con 112 ha. Esto implica un 90% de la producción nacional. Sus rendimientos son más altos que el promedio nacional (0.40 Tm/ha frente a 0.36 Tm/ha) (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011).

La superficie cultivada de maíz suave (con mayor concentración en maíz suave seco) alcanza las 17 mil ha en Chimborazo, que junto con las 16 mil ha en Cotopaxi y las 5 mil hectáreas en Tungurahua representan más las del 50% de la producción de maíz suave a nivel de país. Sus rendimientos alcanzan el 0.35 Tm/ha en Chimborazo.

La producción de trigo está principalmente en Chimborazo, con 3.7 mil ha, mientras en Cotopaxi y Tungurahua existen un mil y doscientas ha respectivamente. Esta producción representa el 23% de la superficie nacional, y sus rendimientos alcanzan 0.40 Tm/ha, esto es un 37% más bajo que la media nacional (INEC, 2011). En el caso de cebada, se cultiva principalmente en Chimborazo, con 17.6 mil ha, seguido de Cotopaxi con 9.5 mil ha y Tungurahua 2 mil ha. En conjunto, representan el 65% del hectareaje nacional. La productividad bordea las 0.50 Tm/ha, lo que implica un rendimiento algo más bajo que la media nacional (INEC, 2011).

Chimborazo es la segunda provincia con mayor producción de brócoli para exportación, que la vende a las empresas empacadoras de productos exportados en frío como Provefrut o IQF, situadas en Cotopaxi. La producción de legumbres de Chimborazo se concentra en fréjol tanto tierno como seco, haba seca y tierna, arvejas tiernas y secas y lenteja (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011).

En la Provincia de Chimborazo claramente se puede ver actividades productivas predominantes que han evolucionado en un alto grado de especialización de negocios como el caso de producción de Quinua Orgánica de exportación y Hierbas Medicinales, en todos estos casos aportando con el 100% de la producción Regional., la producción de tomate riñón con el 43%, queso artesanal con 36% y papa fresca con el 25% de la Región

3, lo que evidencia una fuerte concentración de las actividades agropecuarias de exportación y para el mercado interno.

Además, Chimborazo se ha caracterizado por la producción de rosas, con un incremento en su producción de un 31,6% en el último año. El 94,1%, es decir la mayoría de esta producción se realizó en invernadero y el 5% en campo abierto (INEC, 2010).

1.2.2.2 Residuos de las industrias de transformados vegetales

En lo referente a los residuos hortícolas que se generan durante la cosecha, presentan alto contenido en humedad y generalmente son fácilmente biodegradables. Comprende, entre otros, los residuos que provienen de la mayoría de los cultivos hortícolas comestibles y de las producciones de flor cortada y raíces o tubérculos extensivos. Aunque también tienen un contenido elevado de carbono, presentan una relación C/N baja (< 30) debido a su cantidad de nitrógeno. El contenido de hemicelulosa oscila generalmente entre 5 y 15%, la celulosa varía entre 10 y 40%, su contenido en lignina suele ser más bajo que el resto de los residuos agrícolas (1 al 10%) (López y Boluda, 2008). Los residuos procedentes de los árboles frutales presentan un contenido medio-bajo de humedad y un alto contenido de celulosa y lignina. La relación C/N de estos materiales es muy elevada, entre 150 y 250 (Martínez- Farré, 1995). La disposición final de estos residuos tiene dos opciones: la primera es su amontonamiento al aire libre para facilitar su desecación, disminuyendo así su volumen, para posteriormente transportarlo e incorporarlo al suelo de otras fincas, menos intensas; o quema "in situ", o la disposición final en vertederos, y la segunda muy utilizada en la provincia de Chimborazo es el paso del tractor "in situ" una vez que el producto ha sido cosechado.

Los residuos sólidos de las plantas y árboles frutales en su gran parte son quemados y una proporción menor se utiliza como combustible. Los residuos sólidos de las plantas del tomate de árbol en la provincia de Chimborazo son amontonados para disminuir su porcentaje de humedad y posteriormente quemados al aire libre para luego verter sus cenizas en los mismos campos de cultivo.

Una vez cultivado el producto, es transportando a las áreas de producción de cada industria agroalimentaria, que incluyen dentro del sector de fabricación a partir de las frutas y hortalizas, podemos mencionar:

- Elaboración de conservas vegetales
- Elaboración de congelados vegetales
- Elaboración zumos y concentrados vegetales

Las diferentes actividades industriales generan residuos tanto sólidos como líquidos. Los residuos líquidos de las plantas de procesamiento de frutas y verduras contienen principalmente hidratos de carbono, tales como almidón, azúcares, pectina, así como vitaminas y otros componentes de la pared celular, siendo soluble alrededor del 75% de la materia orgánica total. Dentro de cada producto elaborado existen diversas variables que influyen en la generación de residuos como son (Elias, 2009):

- Calidad de la materia prima
- Sistema de recolección
- Calidad deseable en el producto final, en este caso si se requiere selecciones de materia prima más rigurosa, puede aumentar el porcentaje de residuos.
- Tecnología de fabricación empleada.

En relación a los residuos sólidos generados durante la elaboración de transformados vegetales, se puede destacar que en general poseen un pH ácido y unos contenidos de humedad que varían del 80-90%. La composición química de estos residuos es muy variable y depende sobre todo del tipo de procesado sufrido por el vegetal. En general, los residuos producidos en la transformación de vegetales contienen compuestos hidrocarbonados y una cantidad relativamente pequeña de proteínas y grasas. Los compuestos hidrocarbonados son principalmente azúcares, hemicelulosa y celulosa (Thassitou & Arvanitoyannis, 2001)

La gestión ambiental que se da a estos residuos en la provincia de Chimborazo es la de su vertido directo hacia los recursos hídricos o como enmienda orgánicas sobre el suelo.

1.2.2.3 Residuos de la industria de producción de harinas de cereales

La cadena productiva de la molinería comprende varios procesos donde se llevan a cabo el procesamiento de los cereales. La cadena del procesamiento de los cereales comienza con la producción agrícola del cereal, seguida por la producción de productos intermedios y materias primas derivados del proceso de molturación del cereal (harina y subproductos). Los pasos fundamentales de la molienda son la trituration (para fragmentar el grano), la tamización (para separar las partículas según el tamaño) y la purificación (para separar las partículas provenientes del salvado o pericarpio). De esta manera, un proceso de trituration convierte el cereal en harina, que se transforma a su vez en la materia prima para la elaboración de productos de panadería y pastelería a partir de la harina, y la elaboración de pastas alimenticias a base de la sémola o de mezclas de ésta con harina en diferentes proporciones (DNP, 2014) (Figura 1).

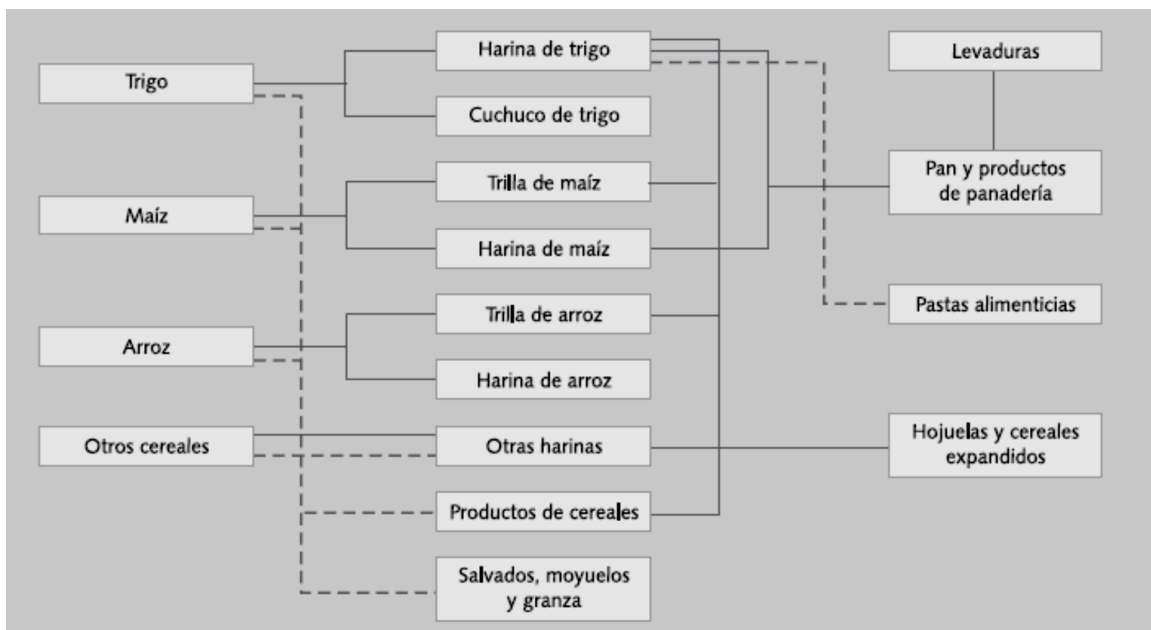


Figura 1. Esquema de producción de harinas de diferentes cereales (DNP, 2014)

La mayoría de los subproductos del sector de la molinería se destinan a la ganadería, donde se utiliza para la alimentación o como cama.

1.2.2.4 Residuos de la industria agroforestal

La mayoría de los residuos forestales provenientes de la agroindustria forestal en su mayor parte se componen de material lignocelulósico.

Las características físicas, químicas y biológicas de los restos y subproductos forestales varían mucho con las especies, condiciones de crecimiento, tipo y forma de aprovechamiento, maquinaria empleada y del proceso industrial al que se someten los árboles y sus componentes (González-González y González-Doncel, 1999).

- Follaje. Es un residuo muy abundante de poda o de corte. Se le da valor comercial de muy escaso o nulo, pero es el de mayor valor alimenticio. La humedad del follaje recién cortado oscila, por lo general, entre 50 y 70%.
- Cortezas. Suelen contener entre 40-50% de agua con una densidad del orden de 250-350 Kg/m³.
- Serrín. Las partículas oscilan entre 5-10 mm de longitud. La humedad es muy variable ya sea serrín fresco o aireado, y suele estar entre 40 y 50%.
- Virutas. Tienen forma plana y curvada, tienen entre 20-50 mm de longitud con ancho variable, proceden en general de materia seca y la proporción de agua oscila entre el 7-15%. La densidad es muy baja cuando no se compactan (100 kg/m³) y 250 Kg/m³ si se comprimen.
- Pastas, lodos y líquidos residuales. Proceden de las industrias del papel y cartón y tienen características muy variables, según el tipo de proceso industrial que las origina.

Los residuos generados en la industria de aserradero, tableros, pasta y segunda transformación, son materiales generalmente de alta calidad calórica, son densos y con bajo contenido de humedad (Sanz y Piñeiros, 2003).

1.2.3 Residuos agroindustriales de origen animal

La ganadería tradicionalmente implicaba una estrecha interrelación entre el ganado y la actividad agrícola de las pequeñas granjas. Por ello el valor del estiércol era reconocido como un fertilizante del suelo, incluso hasta principios del siglo XX. El desarrollo de la agricultura moderna mejoró la eficiencia de producción, llevando a su especialización. La consecuencia más inmediata fue la separación de la ganadería de la agricultura, que junto con el abaratamiento de los fertilizantes inorgánicos, llevó a la utilización preferente de dichos fertilizantes en los cultivos. Esto llevó a la producción de estiércol en exceso en áreas concentradas sin suelo agrícola suficiente para su aplicación, por lo que comenzó a considerarse un “residuo”.

En cuanto a la producción pecuaria en la provincia de Chimborazo, predomina la ganadería bovina, con una alta proporción de ganado criollo, genéticamente adaptado a las condiciones agro-ecológicas de la provincia. Dada la gran dispersión de los productores, se da una mayor concentración de la actividad ganadera en pequeños productores, tanto en número de productores como en número de cabezas de ganado. Siendo los productores de agricultura familiar de subsistencia y transición los que tienen el mayor número de ganado.

Los páramos son bastante importantes en esta región. Chimborazo es la provincia con mayor superficie agrícola (alrededor de 160.000 ha), duplicando en extensión a las otras provincias. Existe una importante penetración de pequeños productores en los páramos, sin embargo, la superficie se concentra en grandes productores (entre ellos comunidades). Estas grandes extensiones de tierra principalmente mayores a 200 hectáreas, están dedicadas en muchos de los casos a la producción pecuaria y al pastoreo.

La producción de leche en finca es muy significativa. Chimborazo es la provincia más lechera de todo el grupo, ya que la ganadería de leche es especialmente importante en la región, sobre todo en las provincias de la sierra: Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi.

Su aporte es del 22% a la producción nacional, llegando a 360 millones de litros diarios de leche. Este sector crece a tasas del 3% anual. Un importante número de fincas de la región tiene ganado vacuno, avicultura y producción de conejo de Indias. La cría de especies menores se ha convertido para los pequeños productores en un medio de ahorro de corto plazo. Un problema bastante frecuente en las zonas ganaderas de la provincia es el residuo líquido (suero de la leche) que se genera debido a la industria de la producción del queso, debido a la inadecuada gestión ambiental de este residuo, mismo que es vertido directamente a los sistemas de riego de las zonas aledañas (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011).

La existencia de aves criadas en el campo se incrementó en 4,8%. La mayor proporción está en la categoría de pollitos, pollitas, pollos, pollas, gallos y gallinas, donde

se habla de alrededor de 10 millones de aves criadas a nivel nacional. Existe una proporción mucho menor para el caso de patos y pavos. La existencia de aves criadas en granjas avícolas se incrementó este último año en 1,66% su proporción es mayor porque existe un proceso de producción más industrializado. El número de pollos y gallinas que se criaron en el año 2010 fue 23.085.292; mientras que el de gallinas ponedoras que se criaron fue 9.777.235. Sumadas ambas categorías, se habla de aproximadamente treinta millones de aves criadas en granjas avícolas. Ha crecido el número de gallinas reproductoras que se crían en granjas avícolas en Ecuador, en el año 2008 habían 314.000 gallinas reproductoras, en el año 2009 creció a 2.120.000 gallinas reproductoras y en el año 2010 se registraron 3.412.053 gallinas reproductoras. Estas cifras tienen relación con el crecimiento de las otras categorías donde se evidencia la importancia que tienen las aves criadas en granjas avícolas en nuestro país. La producción de huevos de gallinas se incrementó en 21,54% en las granjas avícolas. En Ecuador se consumieron 6.240.594 huevos en términos de autoconsumo, a eso se suma el destino de los huevos para las ventas que fueron 1.159.752 y para otro tipo de fines 485.424, sumando estas tres categorías (INEC, 2013)

Uno de los problemas más importantes que ha producido el desarrollo industrial pecuario en los últimos tiempos es la elevada cantidad de residuos generados. La agricultura y ganadería no han escapado a este desarrollo, debido a los importantes avances en la ciencia agrícola e ingeniería técnica. El alto costo de los fertilizantes químicos ha inducido a que se utilicen los efluentes ganaderos como fertilizantes, que es quizá la solución más usada, al requerir inversiones de bajo coste y proporcionar los mayores beneficios económicos, considerando los precios crecientes de los fertilizantes minerales.

Desde el punto de vista físico, el estiércol líquido o purín es un material heterogéneo de color oscuro, producto de un proceso continuo de fermentación de una mezcla de deyecciones (sólidas y líquidas) del ganado, algunos restos de alimentos y agua, en proporciones variables. El proceso de fermentación tiene lugar en fosas abiertas o cerradas, a las que son arrastrados los excrementos junto con el agua de lavados de los establos (fosas cerradas) o con el agua de lavado de lluvia (fosas abiertas). La transformación biológica más importante de estos residuos es la fermentación anaerobia, dando lugar a la generación de CO_2 y CH_4 . Desde el punto de vista químico, el estiércol licuado es muy complejo. Todos estos estiércoles tienen una composición cualitativa muy similar: agua, elevados contenidos en materia orgánica, macronutrientes (N, P, K), elementos secundarios (Ca, Mg, Na) y oligoelementos (Cu, Zn, Fe, principalmente). Su composición cualitativa es muy variable, entre los factores de variación la tasa de dilución es uno de los más importantes, y también depende del tipo de animal.

Según establece Carballas (1991), la composición media del estiércol de vacuno o vacuno y porcino indica que se trata de un material orgánico con una proporción equilibrada de los macronutrientes primarios N, P y K, con una gran reserva de N orgánico ya que el N inorgánico, casi todo en forma amoniacal, representa sólo el 12%.

Los estiércoles de vacuno y porcino contienen un 6% de materia seca, en promedio, y el de ponedoras oscila alrededor del 15%. En el estiércol de pollos de engorde o gallinaza sólida, el contenido de materia seca es mucho más elevado (cerca del 60%) debido a la fracción vegetal que contiene, empleada como cama. El porcentaje de cenizas es alrededor del 24 y 28% s.m.s, en promedio, para los purines de vacuno y porcino, respectivamente, 35% para el de las ponedoras y sólo alrededor del 19% para las gallinazas sólidas. El contenido de $C_{orgánico}$ de los purines y gallinazas oscila alrededor del 40% s.m.s. El primer elemento en importancia en el purín de vacuno y en las gallinazas es el N. En el purín de vacuno la cantidad de N total oscila entre 1,5 y 13,0%, con un promedio del 5% s.m.s; siendo muy constante el contenido de N orgánico, y muy variable el N inorgánico, aunque siempre representa más del 50% del N total. El purín de ponedoras tiene un elevado contenido en N total, aproximadamente un 9,0% s.m.s, entando el 65% en forma amoniacal. En cuanto a la gallinaza sólida, el contenido de N es sólo el 4,6% de la materia seca y únicamente alrededor del 20% está en forma amoniacal. El N orgánico representa el 3% en el purín de ponedoras y el 3,7% de la gallinaza sólida. La gallinaza líquida es más rica en elementos minerales que la gallinaza sólida, mientras que ésta tiene mayor contenido en materia seca y en materia orgánica y son mayores sus reservas de N orgánico (Báscones y Alvarez, 2013).

La adición de estos materiales al suelo estimula la actividad biológica del suelo y, en consecuencia, aumenta la capacidad mineralizadora del suelo. Además, aumentan el C y N potencialmente mineralizable del suelo siendo el aumento de este C mayor con el purín que con la gallinaza sólida y mayor, en cambio, el N mineralizable de la gallinaza sólida. Además la cantidad de nutrientes que aporta cada abono es variable, así; el purín de cerdo es pobre en P; el K es abundante en el purín vacuno, el Ca es el tercer elemento en abundancia en el purín vacuno, las gallinazas aportan cantidades variables de Mg, Na, sulfuros, sulfatos, cloruros y menos importantes de oligoelementos (B, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, Fe y otros).

1.2.4 Gestión y aprovechamiento de los residuos agroindustriales

La capacidad de gestión de las instituciones ambientales en las diferentes regiones se ve limitada no tanto por la carencia de leyes – en los últimos años se ha producido una amplia legislación que abarca desde la política ambiental hasta su gestión e instrumentos o el manejo sostenible de los ecosistemas, de la diversidad, de la vida silvestre, de los recursos forestales, o de los suelos y aguas -, sino por la debilidad política para hacerlas cumplir (PNUMA, 2010).

Por lo que el creciente interés y abordaje del tema ambiental en las agendas de los diferentes sectores – gobiernos nacionales, locales, organizaciones civiles y empresariales, universidades y centros de investigación – ofrecen una oportunidad para enfrentar el deterioro ambiental y sentar las bases para avanzar hacia un modelo más sustentable de desarrollo. La capacidad de gestión de las instituciones ambientales en la región se ve limitada no tanto por la carencia de leyes – en los últimos años se ha producido una amplia legislación que abarca desde la política ambiental hasta su gestión e instrumentos

o el manejo sostenible de los ecosistemas, de la diversidad, de la vida silvestre, de los recursos forestales, o de los suelos y aguas -, sino por la debilidad política para hacerlas cumplir (PNUMA, 2010).

En América del Sur, la gestión ambiental se ha llevado a cabo gracias a varios acuerdos comerciales como el de Mercosur, con la creación, posteriormente del Tratado de Asunción de 1991. Los países miembros de la Comunidad Andina de Naciones aprobaron en 1999 la creación del Comité Andino de Autoridades Ambientales, como instancia de diálogo y búsqueda de consenso en el tema ambiental. En el plano regional, una de las modalidades más efectivas de cooperación entre autoridades ambientales es el Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, cuya secretaría es ejercida por el PNUMA. Este Foro, creado en 1982, agrupa a los 33 ministros o sus equivalentes, jefes de agencias o comisiones ambientales de la región, quienes se reúnen periódicamente para acordar posiciones conjuntas ante organismos globales y suscribir acuerdos de cooperación regional. El Foro de Ministros también se ve fortalecido por el respaldo del Comité Técnico Interagencial (CTI) —constituido en 1999 por la CEPAL, el PNUD, el PNUMA, el Banco Mundial y el BID— cuyo objetivo es buscar un desarrollo ambiental sostenible. (CEPAL, 2010).

En la región centroamericana, en 1989 fue creada la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), como parte del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), Comisión que adquiere gran relevancia como foro subregional de ministros de medio ambiente o autoridades equivalentes. Este impulso dado al tema del desarrollo sostenible fue ratificado con motivo de la firma de la Alianza para el Desarrollo Sostenible de Centroamérica (ALIDES) en 1994, que fortalece de manera importante la integración de esta región sobre bases comunes de desarrollo sostenible. Existen once instituciones Nacionales que han incorporado con diferente grado de amplitud, previsiones ambientales. Además se ha aprobado en la mayoría de los países una profusa legislación en materia de conservación, defensa y restauración de los recursos naturales renovables, protección de la calidad ambiental y otros campos concurrentes. Dentro del sector público en la mayoría de los países de Latinoamérica se han creado organismos encargados de esta función generalmente al máximo nivel administrativo: ministerios y comisiones Nacionales.

También es importante señalar que en la región de América Latina y el Caribe 24 países participan en el Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que ha financiado 779 proyectos de comunidades de base y ONG por un total de 13.4 millones de dólares (CEPAL, 2010).

En el Ecuador, la Gestión Ambiental en está a cargo del Ministerio del Ambiente (MAE) y ha tenido un desarrollo muy rápido durante la década de los noventa, tanto en la generación de políticas y regulaciones jurídicas, como en la incorporación de la "preocupación" ambiental en las actividades de múltiples actores sociales, para su desarrollo ha sido muy importante la llamada Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro,1992) y la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo que introdujo el concepto de

sostenibilidad como un objetivo fundamental de los procesos actuales de desarrollo. Las Leyes a las que se somete la gestión Ambiental está basada en: Ley de Prevención y Control de la Contaminación, Ley Forestal, Plan Nacional Ambiental, Ley de Gestión Ambiental, a través de Estrategias importantes como Estrategia Nacional Ambiental para el Desarrollo Sustentable, la Estrategia Forestal, la Estrategia de Biodiversidad y la Estrategia de Galápagos.

De acuerdo con la Constitución Política (Art. 163), las normas de los Convenios Internacionales suscritos por el Ecuador son obligatorias, están subordinados a la Constitución pero tienen mayor fuerza normativa que una ley.

Entre los principales instrumentos jurídicos internacionales, a los que está adscrito el Ecuador tenemos: Declaración de Río de Janeiro sobre Ambiente y Desarrollo (1992), que compromete al cumplimiento de los 27 principios sobre manejo de los recursos naturales para el desarrollo sustentable. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992) que compromete a “promover la protección de los ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento de poblaciones viables de especies en entornos naturales”. El Convenio de Lucha contra la desertificación. Convención Marco sobre Cambio Climático (1993), que nos compromete a tomar medidas institucionales, técnicas y de políticas para controlar las emisiones que afectan al equilibrio del clima a nivel internacional, en coordinación con las resoluciones periódicas que se toman en las reuniones internacionales de las partes firmantes. Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación (1989). El Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal (1990) que nos comprometen a reducir y eliminar el uso de sustancias que contribuyen al agotamiento de la capa de ozono. El Tratado para la Cooperación Amazónica (1978) que compromete a los países de la cuenca a tomar acciones coordinadas e individuales para la conservación de los ecosistemas y la promoción del desarrollo armónico de sus pueblos y territorios (Albán et al., 2004).

Pero, a pesar de que existe un sinnúmero de entidades tanto nacionales como internacionales encargadas de la Gestión Ambiental, sin embargo no existe un control riguroso en el país, para que se cumpla la legislación vigente, por lo que la gestión de los residuos orgánicos en general y en concreto de los agroindustriales no está optimizada.

Lo que se puede ilustrar en la encuesta presentada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el que se indica que en el Ecuador, el 80% de las empresas en el país no invierte en protección ambiental. Más del 80% de las empresas no cuentan con un estudio de impacto ambiental. Solamente el 2% de las empresas han incluido sistemas de gestión ambiental mediante certificaciones internacionales dentro de sus organizaciones (CEPAL 2000; INEC 2011).

Según la Norma de calidad ambiental del Recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados de la Presidencia de la República Ecuatoriana, dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y de disposiciones de aplicación obligatoria que rige en todo el territorio nacional ecuatoriano, establece:

- La prevención de la contaminación al recurso suelo se fundamenta en las buenas prácticas de manejo e ingeniería aplicada a cada uno de los procesos productivos. Se evitará trasladar el problema de contaminación de los recursos agua y aire al recurso suelo.

- Toda actividad productiva que genere desechos sólidos no peligrosos, deberá implementar una política de reciclaje o reuso de los desechos. Si el reciclaje o reuso no es viable, los desechos deberán ser dispuestos de manera ambientalmente aceptable.

- Las industrias y proveedores de servicios deben llevar un registro de los desechos generados, indicando volumen y sitio de disposición de los mismos. Por ningún motivo se permite la disposición de desechos en áreas no aprobadas para el efecto por parte de la entidad ambiental de control

- Los desechos pecuarios provenientes de granjas productoras, con atención especial a las granjas porcinas, avícolas, y aquellas instalaciones adicionales que la entidad ambiental de control considere, deberán recibir tratamiento técnico adecuado, a fin de evitar la disposición directa sobre el suelo y evitar de esta forma la contaminación por microorganismos y cambio en sus características naturales.

- Las organizaciones públicas y privadas que utilicen o aprovechen aguas salinas o salobres deberán adoptar las medidas técnicas necesarias a fin de evitar la salinización y cualquier tipo de contaminación o degradación total o parcial de las características o cualidades físicas, químicas o biológicas de las tierras con actitud agrícola, ganadera forestal o de reserva natural.

- Las organizaciones localizadas en zonas agrícolas, dedicadas a la producción acuícola, que utilizan aguas con contenido de sales mayores a la salinidad presente en el suelo, deberán adoptar los correctivos necesarios a fin de evitar la intrusión de esta agua en el suelo, con la posterior adsorción de sales en el suelo, o su migración a fuentes de agua subterránea, para el efecto deberán remitirse a la normativa existente referente a la actividad acuicultora en tierras altas.

- Las actividades acuícolas localizados en tierras altas, dentro del Estudio de Impacto Ambiental, deberán incluir un Plan de Abandono del Sitio del proyecto a desarrollarse.

- Si al concluirse una actividad acuícola efectuada en zonas agrícolas, el suelo donde se ha asentado el proyecto presenta concentraciones de sales elevada con relación a la concentración de salinidad presente al inicio del proyecto, el regulado deberá realizar la recuperación de la calidad agrológica del suelo.

Por lo expuesto, se puede ilustrar que la Legislación ecuatoriana pretende un manejo adecuado de los residuos, sin embargo al no ser rigurosa, es en muchos casos inaplicable.

Es por tanto importante tomar como modelos de Gestión Ambiental que apuestan a un desarrollo sostenible y sustentable a organizaciones que han marcado pautas trascendentales a través de la historia, cuyo principal objetivo es la mitigación de los impactos ambientales generados por las actividades agroindustriales. Así podemos mencionar a las siguientes:

La Comisión Europea (European Commission, 2001) promueve el tratamiento biológico de residuos orgánicos mediante la armonización de las disposiciones nacionales en materia de gestión con el fin de prevenir o reducir cualquier impacto negativo de los mismos en el medio ambiente, proporcionando así un alto nivel de protección del medio ambiente, para:

- Proteger el suelo y asegurar que el uso de los residuos biológicos tratados y no tratados se promuevan en beneficio de la agricultura y generen una mejora ecológica.
- Asegurar que los derechos humanos, así como la salud animal y vegetal no se vean afectada por el uso de tratados o residuos biológicos sin tratar.
- Garantizar el funcionamiento del mercado interior y evitar obstáculos al comercio y distorsiones y restricción de la competencia dentro de la Comunidad.

En este documento se establece las directrices europeas para que los residuos biológicos y compost sean considerados estabilizados, de esta forma el contenido en materia orgánica no debe exceder el 30%. La siguiente tabla presenta los valores límites establecidos para los metales pesados según las diferentes clases de compost y residuo biológico estabilizados, en base al **ANEXO III** del documento.

Tabla 3. *Calidad ambiental para las clases compost y los residuos orgánicos estabilizados*

Parámetro	Compost/digestado(*)		Residuo Biológico Estabilizado (*)
	Clase 1	Clase 2	
Cd (mg/Kg dm)	0.7	1.5	5
Cr (mg/Kg dm)	100	150	600
Cu (mg/Kg dm)	100	150	600
Hg ((mg/Kg dm)	0.5	1	5
Ni (mg/Kg dm)	50	75	150
Pb (mg/Kg dm)	100	150	500
Zn (mg/Kg dm)	200	400	1500
PCBs (mg/Kg dm)(**)	-	-	0.4
PAHS (mg/Kg dm) (**)	-	-	3
Impurezas >2mm	<0.5 %	<0.5%	<3%
Grava y piedras > 5mm	<5%	<5%	-

(*): Normalizado para el contenido de materia orgánica de 30%;

(**): Los valores umbral para los contaminantes orgánicos que se encuentran en coherencia con la Directiva sobre lodos de depuradora.

Respecto a la gestión de residuos de residuos agroindustriales de origen animal, el **Reglamento CE N ° 1069/2009**, establece en el artículo 11, las restricciones de uso de los

residuos **SANDACH** y en los artículos 12, 13 y 14, la eliminación y uso de material de las categorías 1,2 y 3 respectivamente.

Los residuos agroindustriales de origen animal analizados en este TFM, corresponden a las categorías 2 y 3.

Dentro del material de la categoría 2 se incluyen a los SANDACH como estiércol y contenido del tubo digestivo de los animales; y dentro de la categoría 3, a los SANDACH correspondan a partes de animales sacrificados que se consideren aptos para el consumo humano de conformidad con la normativa comunitaria, pero que no se destinen a este fin por motivos comerciales;

- Partes de animales sacrificados que hayan sido rechazadas por no ser aptas para el consumo humano, pero que no presenten ningún signo de enfermedad transmisible a los seres humanos o los animales y que procedan de canales que son aptas para el consumo humano de conformidad con la normativa comunitaria

- Pielas, pezuñas, cuernos, cerdas y plumas procedentes de animales que sean sacrificados en un matadero tras haber sido sometidos a una inspección ante mortem, y que, a resultas de dicha inspección, sean declarados aptos para el sacrificio con vistas al consumo humano de conformidad con la normativa comunitaria.

En este reglamento, su artículo 11, menciona la legislación del Reglamento CE Nº 1069/2009 para la **"Aplicación a las tierras, sin procesamiento previo, de determinados materiales de categorías 2 y 3"**. De acuerdo con los artículos 13.f) y 14.l) del Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre, y salvo disposición en contra de las autoridades competentes si consideran que existe riesgo de propagación de alguna enfermedad transmisible a través de dichos productos para los seres humanos o los animales, se autoriza la aplicación a las tierras sin procesamiento previo de los siguientes materiales, sin perjuicio de los requisitos establecidos en otras normas que sean de aplicación, en particular en la normativa ambiental:

a) De categoría 2: estiércol, contenido del tubo digestivo separado del tubo digestivo, leche, productos a base de leche y calostro.

b) De categoría 3: la leche cruda, el calostro y sus productos derivados.

En el Artículo 22, se hace referencia al uso de estos subproductos como **"Abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico"**, mencionando lo siguiente:

La introducción en el mercado y el uso de abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico se realizará de acuerdo con las condiciones establecidas en el artículo 22 del Reglamento (UE) Nº 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, así como con las disposiciones del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, que incluyen la inscripción obligatoria en el Registro de los productos fertilizantes previa a su comercialización.

Los abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico que vayan a ser utilizados en España y que consistan en, o hayan sido producidos a partir de, harinas de carne y huesos

derivadas de materiales de categoría 2 o a partir de proteínas animales procesadas, deberán ser mezclados con un componente autorizado por la autoridad competente, en una proporción mínima que excluya todo uso posterior de la mezcla con fines de alimentación animal. El componente se autorizará de conformidad con los requisitos establecidos en el anexo XI, capítulo II, sección 1 (3) del Reglamento (UE) Nº 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011.

Además, los requisitos para la lana, pelo, cerdas, plumas, partes de plumas y plumón, que se consideran en el reglamento indican:

a) Salvo disposición en contra de la autoridad competente, se autoriza el envío directo de plumas, partes de plumas y plumón que no hayan sido secados desde el matadero a una planta de procesamiento, en condiciones que eviten la aparición de riesgos para la salud pública o animal, siempre que se den las siguientes circunstancias:

- Como resultado de las inspecciones ante mortem y postmortem se ha descartado cualquier riesgo para la salud pública o animal derivado de dichos materiales.

- El transporte se realizará utilizando contenedores o vehículos estancos, que deberán ser limpiados y desinfectados inmediatamente después de cada uso.

b) Se autoriza el envío dentro del territorio nacional de lana y pelo no tratados, sin restricciones derivadas del Reglamento (CE) Nº 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre, del Reglamento (UE) n.º 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, y de este real decreto, siempre que:

- Procedan de explotaciones ganaderas o desde establecimientos o plantas autorizadas de acuerdo con el artículo 24(i) del Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre,

- Procedan de animales vivos sanos y de explotaciones no sujetas a ninguna restricción de tipo sanitario, y

- Los operadores dispongan de un sistema documentado que permita conocer el origen y el destino de cada envío que reciben, transportan o expiden.

Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental EPA, en la Sección 450 (d) de la Ley de Agua Limpia (CWA) dirigida por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) publicó en el año 2001, una normativa que contiene las directrices para la utilización o eliminación de lodos de depuradoras. Esta sección también prevé efectos adversos de los contaminantes tóxicos en los lodos de las aguas residuales que se utilizan. La EPA publicó un reglamento final del Código de Regulaciones Federales (CFR), que indica en el apartado 503, sección 405 (d), los requerimientos de uso de lodos de aguas residuales o de prácticas de eliminación, así como la aplicación de lodos de depuradora a la tierra, la colocación de los lodos de depuradora en un vertedero de superficie, la colocación de los lodos de depuradora en un vertedero municipal de residuos sólidos y el vertido de los lodos de depuradora de aguas residuales en un incinerador, el contenido máximo aceptable de metales pesados que deben tener tales residuos para su aplicación en el suelo (Tabla 4). En este documento también se establece el límite establecido de materia

orgánica entre 50-60% para considerarse un residuo orgánico estabilizado antes de ser aplicado directamente en el suelo, de forma que no altere sus equilibrios biológicos generando contaminación.

Tabla 4. *Límites de contaminantes químicos en biosólidos para su aplicación al suelo (mg/kg, sms)*

	Concentración límite (mg/kg, sms)	Carga acumulada de contaminante (kg/ha, sms)	Concentración del contaminante (mg/kg, sms)	Carga anual (kg/ha/periodo 365 días)
As	75	41	41	2.0
Cd	85	39	39	1.9
Cr	3000	3000	1200	150
Cu	4300	1500	1500	75
Pb	840	300	300	15
Hg	57	17	17	0.85
Mo	75	N/A	N/A	N/A
Ni	420	420	420	21
Se	100	100	36	5.0
Zn	7500	2800	2800	140

Fuente: (EPA, 2001)

Por otro parte, una gestión adecuada de los residuos de origen agroindustrial, puede ser llevada a cabo a través de una gran variedad de tratamientos biológicos que permiten la correcta gestión de los residuos agroindustriales, algunos ejemplos de ellos son los siguientes:

Los residuos agroindustriales pueden ser utilizados para la obtención de biomasa como combustible (Solé y Flotas, 2004). Además para su tratamiento energético es imprescindible conocer su composición, así como para otras formas de valorización. Los residuos agrícolas que interesan para su aprovechamiento energético, son los de alto contenido celulósico; los restos de cosecha, de poda, de ramas, hojas, cortezas. (Blázquez, 2003). Los residuos de los cereales, y hortícolas pueden utilizarse para la elaboración de compost como enmienda orgánica para el suelo, su incorporación al suelo se constituye en un aporte importante de materia orgánica al suelo y su posterior humidificación, mejorando el balance de humus con numerosos efectos positivos que ello conlleva, y reciclaje de forma natural de los nutrientes asimilados por los cultivos (Martínez, 2006). En cuanto a los subproductos de las industrias de molienda de cereales, Liyana-Pathirana y Sahidi (2006) encontraron que las fracciones del salvado y el germen de trigo molido podrían servir como una fuente rica de antioxidantes fenólicos dietéticos con aplicación potencial como nutracéuticos o ingredientes alimentarios funcionales. Los residuos generados de la industria de aserradero, tableros, pasta y segunda transformación, son materiales generalmente de alta calidad calórica, si son densos y con baja humedad, además están concentrados en las diferentes empresas. Por esta razón, mediante un sistema de recogida bien organizado estos residuos son ampliamente utilizados, bien para la creación de subproductos o la generación de energía calórica, empleados en las propias

industrias de generación de energía eléctrica (Sanz y Piñeiros, 2003). Los residuos agrícolas se pueden utilizar para la elaboración de bioetanol, se estima que los restos de cosecha podrían reemplazar hasta un 32% del consumo de gasolina actual (Kim y Dale, 2004). Es posible la producción de biogás, a través de la mezcla de purines y restos vegetales, pues se favorece la actividad de microorganismos que degradan la materia orgánica y aumentan la eficiencia del proceso de digestión anaerobia. La codigestión de lodos de depuradora con residuos agrícolas aumenta la producción de metano en el proceso de digestión anaerobia (Angelidake y Ellegaard, 2003); (Bolzonella et al., 2006); (Gómez et al., 2006); (Romano y Zhang, 2008). A través una digestión anaerobia de los residuos agroindustriales se puede producir biohidrógeno, el mismo que puede ser utilizado como biocombustible (Ohmiya et al., 2005). Los estiércoles y el material de las camas de los corrales se puede distribuir en el suelo o tratarlos mediante compostaje antes de su empleo como fertilizante orgánico (Banks y Wang, 2008).

Los residuos sólidos orgánicos, generados por la industria de procesamiento de peces y cefalópodos, pueden ser transformados principalmente en harinas para alimentación animal (Islam et al., 2004). También se ha propuestos métodos de compostaje, al mezclarlos con productos de la madera (Liao et al., 1995); (Laos et al, 1998), se pueden obtener productos con alto valor añadido como aceite de pescado (Aidos et al., 2001), gelatina (Norziag et al., 2009), aislamiento de compuestos bioactivos (péptidos, oligosáridos, ácidos grasos, enzimas, minerales hidrosolubles y biopolímeros con aplicaciones biotecnológicas y farmacéuticas (Kim y Mendis, 2006)

De lo anteriormente citando se puede concluir que para buscar una oportunidad de aprovechamiento de los residuos, se hace necesario conocer su etiología, su caracterización para conocer su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera, de forma que se pueda definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y utilización.

2 OBJETIVOS Y SÍNTESIS

La población de América Latina y el Caribe está creciendo de manera significativa. Por lo tanto, este importante incremento de la población también ha implicado un aumento de la producción de alimentos. En 2011, la actividad manufacturera de América Latina y el Caribe contribuyó al producto interno bruto (PIB), con 729.323 millones de dólares. De acuerdo con las Cuentas Nacionales Anuales de ecuatoriano Banco Central , en 2008, las industrias manufactureras , con exclusión de la producción de la refinación de petróleo , productos químicos, productos metálicos y no metálicos , tenían un valor añadido para el 8,7% del PIB, la industria de producción de alimentos que presenta la mayor contribución (3,9 % del PIB). La provincia de Chimborazo se encuentra en la zona central del corredor interandino. Tiene una población de 458.581 habitantes, siendo la novena más poblada provincia de Ecuador. Las principales agroindustrias de la provincia de Chimborazo se basan en la producción de verduras, carnes, plantas ornamentales, harina de distintos cereales y transformación de la madera. A pesar de los beneficios rurales y la creación de empleo y riqueza en las regiones fronterizas, la agroindustria se enfrenta a un problema cada vez mayor, ya que se producen grandes cantidades de residuos. El 80 % de las empresas no invierten en la protección del medio ambiente y el 80 % de las empresas no tienen un estudio de impacto ambiental. Sólo el 2 % de las empresas había incluido los sistemas de gestión ambiental dentro de sus organizaciones por certificaciones internacionales.

De este modo, en este trabajo se plantea como **objetivo fundamental determinar las características de los diferentes desechos agroindustriales generados en la provincia de Chimborazo para analizar la estabilidad de la materia orgánica, el contenido de nutrientes para las plantas y la concentración de los compuestos fitotóxicos y contaminantes a fin de evaluar su potencial utilizar como enmiendas del suelo.**

Los objetivos concretos que se pueden citar son los siguientes:

- Análisis y caracterización de las distintas fracciones de la materia orgánica de los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal estudiados.
- Evaluación del valor fertilizante de estos residuos
- Determinación de parámetros que indiquen los efectos potencialmente tóxicos de estos residuos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente TFM tiene carácter experimental y pretende conocer cuál es la tipología y composición de los residuos de la agroindustria tanto de origen animal como de origen vegetal provenientes de la provincia de Chimborazo.

Para ello, se han tomado muestras de los residuos generados en diversas agroindustrias de los cantones de la provincia: Riobamba, Guano, Colta, Chambo y Penipe

La georeferenciación de estos cantones se indica en la siguiente figura:

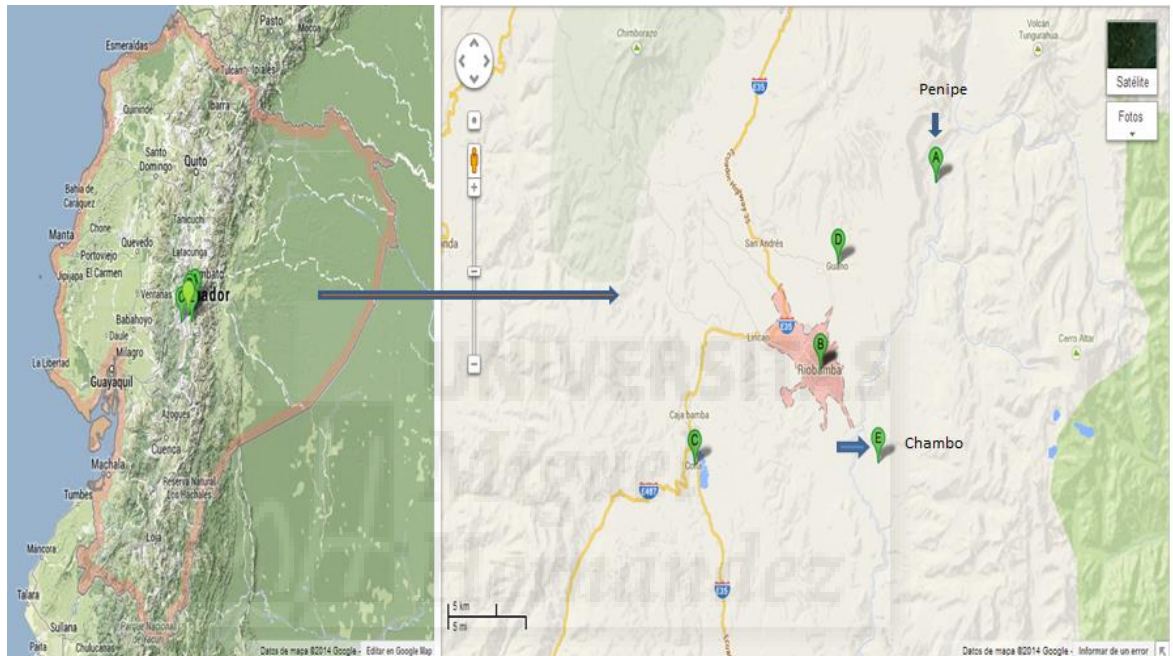


Figura 2. Localización geográfica de los cantones de la provincia de Chimborazo (Google maps)

3.1.1 Diseño del experimento

Para esta investigación se determinaron las siguientes variables experimentales:

Variable dependiente-Tipo de Residuo:

- Residuos de Origen Animal
- Residuos de Origen vegetal

Variables independientes.

- Parámetros Físico-químicos
- Parámetros relacionados con la materia orgánica
- Macro y micro nutrientes y sodio
- Compuestos potencialmente tóxicos y fitotoxicidad

3.1.2 Datos del Experimento

A continuación se indican las principales etapas que fueron necesarios para la recolección de los residuos procedentes de las agroindustrias de la Provincia de Chimborazo

- Selección de agroindustrias de origen vegetal y agroindustrias de origen animal situados en la provincia de Chimborazo (Ecuador).
- Realizar la georeferenciación de los residuos recogidos (Google map)
- Indicar cuál es el sistema productivo y en qué puntos del mismo se generan cada uno de los residuos orgánicos sólidos producidos.
- Realizar un muestreo representativo de todos los residuos orgánicos sólidos que se producen en cada una de las agroindustrias seleccionadas.
- Realizar la toma de muestra de aproximadamente 500g

3.1.3 Toma y preparación de las muestras

Para la toma y preparación de las muestras se siguieron los siguientes pasos:

- Secar la muestra en estufa de aire forzado a 60°C, hasta que la humedad esté por debajo del 5%.
 - Una vez seco el residuo, se procedió a su molido mediante un molino eléctrico provisto de aspas mecánicas, usando una cantidad necesaria para que se realice una óptima molienda.
 - Envasar las muestras al vacío y enviarlas al Campus de la EPSO-España para su posterior análisis.
 - Secar las muestras a 105°C durante 24 horas hasta peso constante, y verterlas en un recipiente de plástico o de material inerte, donde se mezclan, homogenizan y etiquetan para su análisis.

Los análisis físico-químicos; químicos y biológicos se realizaron en el Campus Universitario de la UMH-Escuela Politécnica Superior de Orihuela (España).

3.1.4 Parámetros analizados

- Físico-químicos:
 - pH
 - Conductividad eléctrica
- Parámetros relacionados con la materia orgánica:
 - Materia orgánica
 - Carbono orgánico total
 - Carbono orgánico hidrosoluble
 - Relación C/N
 - Polifenoles solubles
- Macronutrientes y Na:
 - N_{total}

- P
- K
- Na
- Micronutrientes:
 - Fe
 - Cu
 - Mn
 - Zn
- Compuestos potencialmente tóxicos:
 - Metales pesados (Ni, Cr, Cd, Pb, As, Se y Hg)
 - Aniones solubles (Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-})
- Parámetros biológicos:
 - Índice de germinación

3.2 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

3.2.1 Muestreo de los residuos agroindustriales

Veintisiete muestras se obtuvieron de 13 industrias diferentes de la provincia de Chimborazo, provenientes de los Cantones de Chambo, Penipe, Colta, Riobamba, y Guano, durante la investigación en el año 2012 (Tabla 5). Las muestras una vez tratadas como se ha indicado anteriormente fueron analizadas, realizándose todos los análisis por triplicado.

Tabla 5. *Origen y características generales de los residuos agroindustriales*

Residuo	Tipo de Agroindustria	Región	Características del residuo
Residuos agroindustriales de origen vegetal			
AR-1	Industria de procesamiento de plantas hortícolas	Cantón Chambo	Residuos vegetales de post-cosecha
AR-2	Industria de procesamiento de flores	Cantón Penipe	Residuos vegetales de post-cosecha
AR-3	Industria de procesamiento de tomate	Cantón Chambo	Residuos vegetales de post-cosecha
AR-4	Industria de procesamiento de brócoli	Cantón Colta	Residuos vegetales de post-cosecha
AR-5	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales procedentes de la molienda (salvado de trigo)
AR-6	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales procedentes de la molienda (granillo)
AR-7	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales del proceso de limpieza (granza)
AR-8	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (polvo fino de trigo)
AR-9	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (morocho)
AR-10	Industria de molienda de trigo	Cantón Colta	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (triguillo)
AR-11	Industria de molienda de quinua	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de la eliminación de la capa externa de proceso (cáscara)
AR-12	Industria de transformación de madera	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de la industria de la madera (aserrín)
AR-13	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (granza)
AR-14	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (pan malo)
AR-15	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (cáscara)
AR-16	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de procesos de limpieza (triguillo)
AR-17	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuos vegetales procedentes de la molienda (afrechillo, fibra de trigo y salvado de trigo)
AR-18	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuo vegetal proveniente de la cepilladora y despuntadora (sémola de trigo)
AR-19	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuo vegetal proveniente de proceso de limpieza (pasta de trigo)
AR-20	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuo vegetal proveniente de la molienda (afrechillo)
AR-21	Industria de molienda de trigo	Cantón Riobamba	Residuo vegetal proveniente de proceso de limpieza (morocho)
Residuos agroindustriales de origen animal			
AR-22	Industria de procesamiento de aves de corral	Cantón Riobamba	Residuo animal del proceso de sacrificio (estómago y las vísceras)
AR-23	Industria de procesamiento de aves de corral	Cantón Riobamba	Residuo animal del pollo desplumado (plumas)
AR-24	Industria de procesamiento de cerdo	Cantón Riobamba	Residuo animal del proceso de sacrificio de porcinos (pelos)
AR-25	Industria de procesamiento de aves de corral	Cantón Guano	Residuo animal del estiércol de pollos de raza broiler
AR-26	Industria de gallinas ponedoras	Cantón Guano	Residuo animal del estiércol de gallinas ponedoras de raza leghorn
AR-27	Industria de codornices ponedoras	Cantón Riobamba	Residuo animal del estiércol de codornices

3.2.2 Métodos Analíticos y Estadísticos

La conductividad eléctrica (CE) y el pH de los residuos fue determinada en un extracto acuoso en relación 1:10 (p/v); el contenido total de materia orgánica (MO) se determinó por la pérdida por ignición a 430°C durante 24 h (Navarro et al., 1993). La cantidad de materia seca de las muestras se determinó después de 12 horas a 105°C con el fin de expresar todos los datos en una base de peso seco. El Nitrógeno total (Nt) y carbono orgánico (Corg) se determinaron mediante microanálisis automático (Navarro et. Al 1991), al igual que el C orgánico soluble en agua (Chidro)(Sanchez-Monedero et al.,1996). El contenido de Polifenoles solubles en agua se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu modificado en 1:20 (p/v) de extracto de agua (Beltrán et al., 1999). La concentración de NO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} se determinaron por cromatografía iónica en un proporción de extracto acuoso 1:20 (p/v). Después de la digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$, el contenido de P se midió colorimétricamente (Kitson y Mellon, 1944) y Na, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados se determinaron por espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. El índice de germinación (IG) se calculó utilizando semillas de *Lepidium sativum* L. (Zucconi et al., 1981). Las técnicas analíticas empleadas se muestran de forma detallada en el anexo I: Métodos analíticos

Los valores medios de cada parámetro se emplearon para determinar diferencias estadísticamente significativas utilizando análisis de la varianza de una sola vía (ANOVA), teniendo en cuenta el tipo de residuo. La comparación de las medias de cada parámetro se realizó mediante la prueba de Tukey-b a $P < 0,05$. La normalidad y la homogeneidad de las varianzas se comprobaron mediante los tests de Levene y de Shapiro-Wilk, respectivamente, antes de la realización de la ANOVA. Además, para identificar grupos de variables relacionadas entre sí, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) de los diferentes parámetros estudiados en todos los residuos. Las nuevas variables calculadas fueron llamadas componentes principales (PCs), y fueron mutuamente ortogonales y no correlacionadas entre sí (Gil et al., 2008). PCA se aplicó a los valores medios de las tres repeticiones de cada parámetro. Para el PCA se utilizó el método de rotación mediante normalización Varimax. Todos estos análisis se llevaron a cabo utilizando el paquete de software estadístico SPSS v. 18.0.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERIZACIÓN

4.1.1 Parámetros físico-químicos

La tabla 6 muestra las características físico-químicas y químicas de los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal. Los valores medios de pH fueron similares en ambos tipos de los residuos agroindustriales (5,97 y 6,60 para los residuos agroindustriales de origen vegetal y de origen animal, respectivamente), siendo los residuos AR-12 y AR-22 los más ácidos. El bajo valor de pH del aserrín ha sido también reportado por (Troy et al., 2012) en un experimento de utilización de estos residuos para su co-compostaje con la fracción separada de estiércol de cerdo fresco y digerido anaeróbicamente. Sin embargo, los residuos con los más altos valores de pH fueron los estiércoles de las aves (AR-25, AR-26 y AR-27). Se ha encontrado que los estiércoles de las aves han sido los estiércoles con los valores más altos de pH, junto con los estiércoles de ganado bovino lechero y de cerdo (Nicholson et al., 2005). Además, los valores promedios de conductividad eléctrica (CE) fueron similares en ambos residuos agroindustriales tanto en los de origen vegetal como de origen animal. Los valores de CE fueron significativamente mayores en los residuos hortícolas ($P < 0,05$) que en el resto de los residuos agroindustriales de origen vegetal que han sido estudiados (11,67; 13,43 y 12,12 dS/m para AR-1, AR-3 y AR-4, respectivamente). En el caso de los residuos agroindustriales de origen animal, el AR-26 fue el residuo más salino (CE = 8,90 dS/m). Los altos contenidos de sales minerales de estos residuos podrían limitar su uso directo como enmiendas del suelo en áreas más susceptibles de sufrir salinización.

Tabla 6. *Características físico-químicas y químicas de los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal.*

Residuo	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Corg (%)	C/N	Chidro (%)	Polifenoles (g/kg)	Cl ⁻ (g/kg)	SO ₄ ²⁻ (g/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)
Residuos agroindustriales de origen vegetal										
AR-1	6.19cdef	11.67 l	75.1 b	39.8 b	12.8 a	13.54 l	14.80 f	8.95 d	6.79 b	5002 b
AR-2	6.10cdef	3.31 i	80.8 c	44.8 de	14.8 ab	5.60 f	25.75 g	1.79 b	1.32 a	747 a
AR-3	6.07cdef	13.43 n	71.0 a	35.2 a	12.6 a	10.79 k	9.66 e	12.94 e	38.90 c	28902 d
AR-4	5.37 b	12.12 m	81.5 c	44.6 de	12.2 a	18.18 m	25.39 g	25.86 f	46.65 d	17294 c
AR-5	6.30efg	2.40 fgh	94.2 fgh	49.4 ghi	16.5 ab	8.76 i	3.58 b	0.85 ab	1.79 a	105 a
AR-6	6.22def	2.27 efg	96.0 fghi	50.4 i	16.4 ab	10.24 j	3.55 b	1.01 ab	1.62 a	99 a
AR-7	5.88 c	1.88 bcd	96.4 fghi	49.8 ghi	21.3 abc	5.18 e	5.03 c	1.43 ab	2.20 a	182 a
AR-8	6.15cdef	1.83 bcd	98.0 ghi	49.6 ghi	22.4 bc	3.22 b	3.47 b	1.33 ab	2.00 a	58 a
AR-9	5.91 cd	1.80 bcd	98.0 ghi	50.3 hi	19.2 ab	5.04 e	2.98 ab	1.18 ab	2.19 a	180 a
AR-10	6.06cdef	1.61 ab	98.5 hi	50.2 hi	19.0 ab	3.87 c	1.99 a	1.23 ab	0.41 a	110 a
AR-11	6.63 h	4.87 j	85.9 d	46.8 ef	29.4 cd	13.39 l	7.68 d	5.52 c	1.74 a	1143 a
AR-12	3.95 a	7.73 k	99.6 i	53.9 j	246.5 e	2.73 a	9.40 e	0.69 ab	0.88 a	83 a
AR-13	5.91 cd	1.77 bc	97.0 fghi	47.8 fgh	19.0 ab	4.01 cd	3.26 ab	0.89 ab	1.30 a	71 a
AR-14	5.91 cd	2.13 cdef	96.7 fghi	47.7 fg	14.8 ab	7.40 h	3.52 b	0.83 ab	1.41 a	41 a
AR-15	6.55gh	1.30 a	89.6 de	42.7 cd	32.9 d	3.30 b	3.96 bc	1.12 ab	0.95 a	201 a
AR-16	6.11cdef	1.94 bcde	93.0 ef	42.2 c	17.1 ab	4.29 d	2.99 ab	0.77 ab	1.08 a	172 a
AR-17	6.27ef	2.58 gh	94.6 fgh	48.6 fghi	16.6 ab	7.56 h	3.20 ab	0.76 ab	1.29 a	78 a
AR-18	5.89 c	1.87 bcd	96.8 fghi	48.6 fghi	13.8 ab	7.69 h	3.78 b	0.97 ab	1.51 a	110 a
AR-19	6.00cde	2.16 def	96.8 fghi	49.2 fghi	16.4 ab	7.55 h	3.51 b	0.87 ab	1.13 a	86 a
AR-20	6.37fgh	2.71 h	93.5 efg	42.8 cd	16.6 ab	6.66 g	3.77 b	0.60 ab	1.03 a	81 a
AR-21	5.49 b	1.72 b	97.8 ghi	48.2 fghi	22.5 bc	4.29 d	2.18 a	0.52 a	0.56 a	108 a
F-ANOVA	81.21***	2541.49***	79.0***	73.8***	784.7***	2208.69***	693.05***	694.36***	179.23***	592***
Media	5.97	3.96	92.0	46.8	29.2	7.30	6.83	3.34	5.56	2612
Rango	3.95- 6.63	1.30-13.43	71.0-99.6	35.2-53.9	12.2-246.5	3.22-18.18	1.99-25.75	0.60-25.86	0.41-46.65	41-28902
Residuos agroindustriales de origen animal										
AR-22	4.85 a	2.57 b	96.5 d	61.2 e	16.8 e	5.18 e	8.71 c	4.84 c	0.98 a	53 a
AR-23	6.05 b	1.45 a	99.2 d	53.0 d	3.7 a	0.83 a	0.46 a	1.33 a	1.05 a	118 a
AR-24	6.20 b	1.76 a	98.4 d	53.4 d	3.7 a	2.00 b	1.71 b	1.06 a	0.47 a	85 a
AR-25	7.56 d	4.52 c	79.2 c	42.2 c	15.5 d	6.29 f	9.95 d	3.66 b	4.62 b	82 a
AR-26	7.26 c	8.90 d	48.3 a	26.6 a	6.7 b	4.32 c	10.00 d	10.14 d	17.43 c	28592 b
AR-27	7.65 d	1.79 a	63.0 b	32.9 b	9.1 c	4.88 d	9.99 d	5.03 c	20.49 d	115 a
F-ANOVA	263.33***	814.64***	583.3***	559.5***	1648.5***	2036.43***	1847.47***	144.93***	1339.58***	9648***
Media	6.60	3.50	80.8	44.9	9.3	3.92	6.80	4.34	7.51	4841
Rango	4.85- 7.65	1.45-8.90	48.3-99.2	26.6-61.2	3.7-16.8	0.83-6.29	0.46-10.00	1.06-10.14	0.47-20.49	53-28592

CE: conductividad eléctrica; MO: material orgánica; Corg: carbon orgánico total; Chidro: carbon hidrosoluble; IG: índice de germinación.

***: Significativo a P < 0.001. Valores medios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a P < 0.05 (test Tukey-b).

4.1.2 Parámetros relacionados con la materia orgánica

Los valores promedios en las concentraciones de MO y Corg fueron similares en ambos tipos de residuos (Tabla 6). En general, los residuos procedentes de la industria productora de harinas de cereales y las industrias de procesamiento de madera (de AR-5 al AR-21) y los subproductos animales (del AR-22 al AR-24) presentaron los valores más altos de estos parámetros (MO > 85,0% y Corg > 45,0%). En todos los residuos estudiados, las concentraciones de MO fueron superiores a los límites establecidos para los biorresiduos estabilizados y compost por las directrices europeas y de EE.UU. (MO > 30% (Comisión Europea, 2001); MO = 50-60% (EEUU, 2001)). En general, las relaciones C/N fueron mayores en los residuos agroindustriales de origen vegetal que en aquellos de origen animal, posiblemente debido a los mayores contenidos Nt de estos últimos (Tabla 7). En la mayor parte de los residuos estudiados, la relación C/N fue más alta que el límite establecido para indicar un buen grado de estabilidad de la materia orgánica (Corg/Nt < 12; (Bernal et al., 1998)).

Los contenidos promedios de C hidrosoluble fueron más altos en los residuos agroindustriales vegetales que en los residuos agroindustriales animales (Tabla 6). Este hecho podría ser debido al alto contenido de carbohidratos de los residuos agroindustriales vegetales, tales como, azúcares y fibras de celulosa (Thassitou y Arvanitoyannis, 2001).

Los residuos de plantas hortícolas y los del sector de molinería de quinua tuvieron las concentraciones más altas de C hidrosoluble. La mayoría de los residuos estudiados tenían valores de este parámetro por encima del valor umbral de C hidrosoluble < 1,7%, límite establecido para materiales con un buen grado de estabilidad de la materia orgánica (Bernal et al., 1998).

El promedio de la concentración de polifenoles solubles en agua fue similar en ambos tipos de residuos. Los residuos procedentes del procesado de plantas hortícolas (AR-1, AR-3 y AR-4), de flor ornamental (AR-2) y de la madera (AR-12) y los estiércol de aves (AR-25, AR-26 y AR-27) tuvieron los más altos contenidos de estos compuestos. La aplicación directa de estos residuos en el suelo podría dañar las plantas, a causa de la concentración de polifenoles, debido a la inhibición de la germinación (Mekki et al., 2007) y a la inmovilización de nitrógeno en el suelo (Bustamante et al., 2007). Las concentraciones de aniones solubles en agua variaron desde 0,60-25,86 g/kg; 0,41-46,65 g/kg y 41-28.902 mg/kg para Cl⁻; SO₄²⁻ y NO₃⁻, respectivamente, en el caso de los residuos agroindustriales de origen vegetales y de 1,06 -10,14 g / kg; 0,47 a 20,49 g / kg y 53-28.592 mg /kg para Cl⁻; SO₄²⁻ y NO₃⁻, respectivamente, en el caso de los residuos agroindustriales de origen animal (Tabla 6). Los residuos hortícolas (AR-1; AR-3 y AR-4) y el estiércol de gallina Leghorn (AR-26) fueron los residuos con los mayores contenidos de aniones solubles en agua, estando este hecho asociado a su mayor valor de CE.

4.1.3 Macronutriente, micronutrientes y sodio

El contenido en macro, micronutrientes y de sodio de los residuos estudiados se presenta en la Tabla 7. En las muestras de residuos agroindustriales de origen vegetal, la concentración media de macronutrientes disminuyó en el siguiente orden: K > Ca > P > Mg y en el caso de residuos agroindustriales de origen animal, el orden de disminución fue: Ca > K > P > Mg. Los residuos post-cosecha de brócoli (AR-4) y los residuos procedentes de la cepilladora y despuntadora (sémola de trigo) (AR-18) tenían significativamente mayores contenidos de Nt ($P < 0,05$) que el resto de los residuos agroindustriales estudiados de origen vegetal. En el caso de los residuos agroindustriales de origen animal, los residuos de plumas de pollo (AR-23) y de pelos de cerdo (AR-24) presentaron las más altas concentraciones de Nt. El alto contenido de Nt de estos subproductos animales han sido reportados en estudios acerca de su uso agrícola como abono orgánico, especialmente en el caso de plumas (Tronina y Bubel, 2008). En cuanto al contenido en P, el residuos vegetal procedente de la molienda de trigo (afrechillo) (AR-20) y los estiércoles de gallinas ponedoras (AR-26 y AR-27) fueron los residuos con los más altos contenidos de P. La alta concentración de P de los estiércoles de aves ponedoras podría estar asociada a la utilización de este elemento como componente de la dieta (Kebread et al., 2009). Los contenidos promedios de K fueron similares en ambos tipos de residuos agroindustriales (12,30 y 15,87 g/kg para residuos agroindustriales vegetales y animales, respectivamente), siendo AR-1, AR-11, AR-26 y AR-27 los residuos con la concentración más alta de este macronutriente. En la mayoría de los casos, el potasio era el macronutriente predominante en los residuos agroindustriales de origen vegetal. Este hecho también ha sido encontrado por otros autores en estudios de caracterización de diferentes residuos agroindustriales, tales como en el alpechín (Paredes et al. 1999), alperujo (Alburquerque et al., 2004) y los residuos de la industria vitivinícola (Bustamante et al., 2008). En general, el calcio fue el macronutriente más importante en los residuos agroindustriales de origen animal, especialmente en el caso de los abonos de las aves ponedoras (AR-26 y AR-27). Este hecho podría ser debido a la utilización de sales de calcio en la dieta de las aves de corral para la formación de cáscara de huevo (Kebread et al., 2009). Es importante destacar que los residuos agroindustriales de origen animal tenían concentraciones medias más elevadas de macronutrientes en comparación con los de los residuos de origen vegetal, siendo el residuo de serrín (AR-12) el que tenía el contenido de macronutrientes más bajo debido a su carácter lignino-celulósico.

En las muestras de residuos agroindustriales vegetales, la concentración promedio de micronutrientes disminuyó en el siguiente orden: Fe > Mn > Zn > Cu y en el caso de los residuos agroindustriales de origen animal el orden de disminución fue: Fe > Mn \approx Zn > Cu (Tabla 7). Los niveles medios de micronutrientes fueron más altos en los residuos agroindustriales animales que en los residuos agroindustriales vegetales. En general, los residuos de estiércol de aves de corral (del AR-25 al AR-27) tuvieron la mayor concentración de micronutrientes.

Tabla 7. Macro y micronutrientes y contenidos de sodio en los residuos agroindustriales de origen animal y vegetal.

Residuo	Nt (%)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Na (mg/kg)
Residuos agroindustriales de origen vegetal										
AR-1	3.13 kl	6.47 h	35.13 i	14.17 b	9.27 j	2246 d	15 fg	91 de	64 ef	12732 e
AR-2	3.05 jk	2.43 d	18.47 g	16.00 b	3.73 f	2918 d	16 fg	108 fg	69 f	347 b
AR-3	2.83 i	8.13 i	27.37 h	79.13 d	14.80 k	960 bc	51 h	72 c	94 gh	964 c
AR-4	3.69 m	6.27 h	25.87 h	56.20 c	5.87 hi	851 abc	9 de	34 b	56 de	1405 d
AR-5	3.03 jk	13.43 l	13.67 f	1.13 a	5.77 h	157 ab	14 f	211 j	142 k	60 a
AR-6	3.11 jkl	8.83 j	9.70 de	1.03 a	3.43 f	133 ab	16 fg	207 j	154 l	56 a
AR-7	2.36 ef	3.83 ef	6.20 bc	1.33 a	1.70 de	261 ab	9 de	104 ef	57 de	75 a
AR-8	2.24 de	4.13 f	6.43 bc	1.03 a	1.63 cde	135 ab	7 bcd	118 fgh	60 ef	55 a
AR-9	2.64 gh	3.50 e	5.77 bc	1.10 a	1.27 bcd	167 ab	7 bcd	33 b	35 b	26 a
AR-10	2.68 h	4.23 f	4.83 bc	0.70 a	1.50 cde	76 ab	7 bcd	66 c	47 cd	32 a
AR-11	1.61 c	1.63 c	36.87 i	5.10 a	5.87 hi	303 ab	6 bc	76 cd	31 b	91 ab
AR-12	0.22 a	<0.50 a	0.30 a	1.07 a	0.20 a	12 a	2 a	4 a	7 a	174 ab
AR-13	2.55 gh	3.70 ef	3.90 b	0.97 a	1.07 bc	124 ab	5 b	79 cd	45 c	46 a
AR-14	3.26 l	6.20 h	7.70 cd	1.13 a	2.00 e	253 ab	8 de	182 i	101 hi	49 a
AR-15	1.31 b	0.87 b	7.20 cd	2.13 a	0.77 b	382 ab	5 b	121 gh	34 b	88 ab
AR-16	2.49 fg	3.70 ef	5.70 bc	2.70 a	1.83 de	1294 c	8 cde	108 fg	60 ef	64 a
AR-17	2.95 ij	12.17 k	10.80 e	1.03 a	4.63 g	143 ab	16 fg	190 i	118 j	39 a
AR-18	3.55 m	6.37 h	6.03 bc	1.03 a	2.00 e	5576 e	9 e	131 h	91 gh	40 a
AR-19	3.02 jk	5.40 g	7.70 cd	1.23 a	1.73 de	229 ab	8 cde	175 i	89 g	42 a
AR-20	2.61 gh	15.87 m	13.80 f	1.13 a	6.40 i	131 ab	17 g	175 i	108 ij	42 a
AR-21	2.17 d	2.77 d	4.83 bc	0.80 a	1.03 bc	267 ab	5 b	22 b	30 b	26 a
F-ANOVA	505.95***	1286.92***	263.48***	205.36***	691.92***	63***	402***	288.14***	269***	2372***
Media	2.59	5.71	12.30	9.06	3.64	792	11	110	71	783
Rango	0.22-3.69	<0.50-15.87	0.30-36.87	0.70-79.13	0.20-14.80	12-5576	2-51	4-211	7-154	26-12732
Residuos Agroindustriales de origen animal										
AR-22	3.68 b	2.07 b	1.90 a	6.83 a	0.40 a	726 a	15 b	20 a	38 a	1852 b
AR-23	14.50 c	1.60 ab	1.27 a	1.80 a	0.40 a	308 a	6 a	13 a	124 b	1175 a
AR-24	14.54 c	0.90 a	1.17 a	1.20 a	0.40 a	233 a	12 b	8 a	140 b	884 a
AR-25	2.75 a	13.03 c	21.87 b	39.83 b	6.60 b	2279 b	22 c	312 b	231 c	1029 a
AR-26	4.00 b	24.93 d	32.93 c	162.80 d	9.70 d	2804 c	42 d	415 c	353 d	4483 c
AR-27	3.66 b	24.60 d	36.07 d	106.30 c	8.37 c	2121 b	45 e	533 d	490 e	1746 b
F-ANOVA	3933.06***	3854.91***	571.36***	626.88***	606.67***	89.54***	300***	1156***	156***	279***
Media	7.19	11.19	15.87	53.13	4.31	1412	24	217	229	1861
Rango	2.75-14.54	0.90-24.93	1.17-36.07	1.20-162.80	0.40-9.70	210-2980	6-45	8-533	38-490	884-4483

Nt: Nitrógeno total.

***: Significancia a $P < 0.001$. Valores medios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0.05$ (Tukey-b test).

En general los contenidos promedios de Na fueron más altos para los residuos agroindustriales de origen animal que para los de origen vegetal (783 mg/kg y 1861 mg/Kg para residuos agroindustriales de origen vegetal y de origen animal, respectivamente), destacándose entre los residuos vegetales los residuos de la industria de procesamiento de plantas hortícolas (AR-1) con los valores más altos de este elemento (Tabla 7)

4.1.4 Compuestos potencialmente tóxicos y fitotoxicidad

Los residuos agroindustriales de origen animal presentaron altos contenidos promedio de metales pesados en comparación con los residuos agroindustriales de origen vegetal (Tabla 8). En general, los estiércoles de las aves fueron los residuos con las más altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos, especialmente en el caso de Cd, As y Se. La presencia de As en los estiércoles de las aves de corral podría ser debido a la utilización de compuestos organoarsénicos en la alimentación de estos animales para el control de la coccidiosis y de la velocidad de aumento de peso y mejorar el color de la carne (Chapman & Johnson, 2002). Sin embargo, todos los residuos analizados mostraron contenidos de metales pesados por debajo del límite permitido en los biosólidos y compost por las directrices europeas y de EE.UU. (EPA-EE.UU., 1993; Comisión Europea, 2001).

La fitotoxicidad es uno de los criterios más importantes para la evaluación de la idoneidad de los materiales orgánicos para fines agrícolas. El límite establecido por Zucconi et al. (1981) para indicar la ausencia de fitotoxinas IG > 50%. En general, los residuos de las industrias de procesamiento de madera, molienda de cereales y proceso de sacrificio de animales tenían valores de IG superiores al límite establecido (Tabla 8). Sin embargo, los residuos procedentes de post-cosecha de hortícolas y de flores ornamentales, así como los estiércoles de aves de corral presentaron los valores más bajos de este parámetro (IG = 0-8%). Este hecho podría estar asociado con las concentraciones más altas de polifenoles solubles en agua, aniones solubles en agua, sodio y metales pesados observados en estos residuos (Tablas 6 y 8).

Tabla 8. *Contenidos de elementos potencialmente tóxicos en los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal*

Residuo	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Se (mg/kg)	Hg (mg/kg)	IG (%)
Residuos agroindustriales de origen vegetal								
AR-1	12.8 h	26.3 f	0.14 gh	1.07 e	0.33 d	0.16 bc	<0.05	0 a
AR-2	18.1 i	37.3 h	0.04 b	0.74 d	0.52 e	0.23 cde	<0.05	5 a
AR-3	4.4 f	7.6 e	0.41 i	0.67 d	0.26 c	0.22 cde	<0.05	0 a
AR-4	3.6 ef	7.3 e	0.09 d	0.63 d	0.12 b	0.08 ab	<0.05	0 a
AR-5	1.1 ab	0.4 a	0.09 d	0.14 ab	<0.10 a	0.51 hi	<0.05	55 ef
AR-6	1.3 abc	0.5 a	0.12 ef	0.13 a	<0.10 a	0.57 i	<0.05	52 e
AR-7	10.3 g	7.4 e	0.06 c	1.96 f	0.11 b	0.47 ghi	<0.05	62 fg
AR-8	1.3 abc	1.1 ab	0.06 c	0.24 abc	<0.10 a	0.49 ghi	<0.05	125 l
AR-9	13.2 h	8.0 e	0.06 bc	0.20 abc	<0.10 a	0.29 def	<0.05	96 ij
AR-10	10.6 g	1.8 abc	0.05 bc	0.31 abc	<0.10 a	0.44 gh	<0.05	93 hij
AR-11	2.8 de	4.2 d	0.02 a	0.44 c	<0.10 a	0.13 bc	<0.05	57 ef
AR-12	0.4 a	0.5 a	0.01 a	0.22 abc	<0.10 a	0.03 a	<0.05	99 jk
AR-13	1.3 abc	1.1 ab	0.04 bc	0.38 bc	<0.10 a	0.27 de	<0.05	86 h
AR-14	1.6 abcd	0.8 a	0.13 fgh	0.32 abc	<0.10 a	0.52 hi	<0.05	68 g
AR-15	3.4 ef	3.0 bcd	0.11 e	0.32 abc	0.13 b	0.19 cd	<0.05	87 h
AR-16	2.7 cde	1.9 abc	0.11 e	3.51 g	0.35 d	0.48 ghi	<0.05	91 hi
AR-17	2.2 bcde	0.6 a	0.14 gh	0.12 a	<0.10 a	0.51 hi	<0.05	43 d
AR-18	2.6 cde	3.5 cd	0.09 d	0.31 abc	<0.10 a	0.67 j	<0.05	104 k
AR-19	2.5 bcde	0.9 a	0.15 h	0.24 abc	<0.10 a	0.38 fg	<0.05	65 g
AR-20	2.7 cde	0.6 a	0.13 efg	0.11 a	<0.10 a	0.47 ghi	<0.05	16 b
AR-21	40.5 j	32.3 g	0.04 bc	0.16 ab	<0.10 a	0.30 ef	<0.05	25 c
F-ANOVA	987.6***	745.6***	437.32***	289.75***	443.68***	60.71***		595***
Media	6.6	7.0	0.10	0.58	0.09	0.35	<0.05	59
Rango	0.4-40.5	0.4-37.3	0.01-0.41	0.11-3.51	<0.10-0.52	0.03-0.67	<0.05	0-125
Residuos Agroindustriales de origen animal								
AR-22	35.1 d	41.5 c	0.17 b	0.47 a	0.43 b	0.93 a	<0.05	34 b
AR-23	25.5 c	5.9 a	0.03 a	0.36 a	0.40 b	1.96 b	<0.05	86 e
AR-24	15.2 a	8.4 a	0.01 a	1.35 d	0.13 a	0.82 a	<0.05	69 d
AR-25	19.8 b	16.7 b	0.82 e	0.76 b	2.60 e	3.47 c	<0.05	8 a
AR-26	18.6 ab	39.2 c	0.58 d	1.21 d	2.40 d	2.07 b	<0.05	8 a
AR-27	19.2 ab	14.7 b	0.51 c	0.98 c	1.60 c	4.22 d	<0.05	43 c
F-ANOVA	55.6***	343.5***	1096.15***	52.89***	964.62***	409.27***		807***
Media	22.2	21.1	0.35	0.85	1.26	2.24	<0.05	41
Rango	15.2-35.1	5.9-41.5	0.01-0.82	0.36-1.35	0.13-2.60	0.82-4.22	<0.05	8-86

***: Significancia a $P < 0.001$. Valores medios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0.05$ (Tukey-b test).

4.1.5 Análisis factorial de los resultados

El análisis de componentes principales (PCA) se llevó a cabo para todos los parámetros analizados ($n = 27$) en los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal. En los modelos propuestos utilizando este análisis estadístico, los valores obtenidos para la medida de Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de la muestra (KMO) fueron superiores a 0,5 y los valores de P fueron 0,000 en la prueba de esfericidad de Bartlett. Además, ninguna de estas variables mostró un valor de extracción $<0,5$. De acuerdo con estos criterios, se puede concluir que los modelos establecidos eran adecuados.

En el caso de los residuos agroindustriales vegetales, al establecer cuatro componentes principales (PCs), el modelo era capaz de explicar 75,7% de la variabilidad, con la siguiente contribución de cada PC: PC1: 38,9%, PC2: 19,2%, PC3: 10,9% y PC4: 6,7 % (Tabla 9). Las diferentes variables agrupadas en cada componente se representan en negrita en relación con su valor absoluto más alto (Tabla 9). Este valor es directamente proporcional a la capacidad de cada PC para explicar la variabilidad observada en la variable específica, con cada componente principal que contiene aquellas variables que tienen un comportamiento similar. En PC1, se agruparon las variables Ca, NO_3^- , CE, SO_4^{2-} , Cl^- , Mg, MO, Chidro, K, Cu, IG, Cd, Corg y polifenoles solubles en agua. Este componente está constituido principalmente por los parámetros relacionados a la fitotoxicidad de los residuos. El IG se correlacionó directamente con MO y el contenido Corg. Sin embargo, IG se correlaciona negativamente con el resto de las variables, lo que implica que un aumento en los parámetros correlacionados con la fitotoxicidad, tales como CE, aniones solubles en agua, los elementos con la naturaleza soluble (K, Ca y Mg), que aumentan el contenido de la salinidad de estos residuos, Cd y polifenoles solubles en agua, producirán una disminución de la germinación de las semillas. PC2 se asoció con Zn, Mn, P, relación C/N, Nt, Se y pH, la relación C/N estuvo negativamente correlacionada con otras variables. Las variables Cr, Ni, Na y Fe se agruparon en PC3, mientras que el Pb y As se asociaron con PC4. Las variables de este último grupo de PCs estuvieron asociadas con elementos peligrosos o potencialmente contaminantes, tales como Ni, Cr, Pb, As y Na.

En cuanto a los residuos agroindustriales de origen animal, usando dos componentes principales, el modelo era capaz de explicar el 80,3% de la variabilidad, con la siguiente contribución de cada componente principal: PC1: 63,8% y PC2: 16,5% (Tabla 9). En PC1, las variables Corg, Zn, P, K, pH, Mg, Mn, MO, SO_4^{2-} , Ca, Cu, Fe, Ni, As, Se, Pb, Cd, NO_3^- y Na fueron agrupados, el Corg, OM y Ni están correlacionados negativamente con el resto de variables. La PC2 se asoció con Nt, polifenoles solubles en agua, Chidro, IG, Cr, relación C/N, Cl^- y CE, Nt e IG estuvieron negativamente correlacionados con las otras variables. En este componente se agruparon los principales parámetros relacionados con la fitotoxicidad de residuos, tales como nivel de salinidad (CE y Cl^-), polifenoles solubles en agua, Cr y la estabilidad de la materia orgánica (relación C/N y Chidro).

También, el PCA reveló una clara diferenciación entre los grupos de residuos (Figuras 3 a y b). En el caso de los residuos agroindustriales de origen vegetal, PC1 discriminó los tipos de residuos, mostrando valores positivos en este eje los residuos de procesamiento de las flores y la industria de la molienda de trigo y valores negativos los

residuos de las industrias de procesamiento de plantas hortícolas (Figura 3a). Sólo los residuos de la molienda de quinua (AR-11), un residuo de la molienda de trigo (AR-20) y el residuo procedente de la industria de transformación de la madera (AR-12) no se agruparon en este PC. Para los residuos agroindustriales de origen animal, en general, el PC1 separó todos los residuos en dos grupos, los estiércoles de aves (AR-25, AR-26 y AR-27) que quedaron en el lado positivo de este eje y los sub-productos de origen animal (AR-23 y AR-24) en el lado negativo (Figura 3b).



Tabla 9. *Coefficientes de componentes principales para los parámetros estudiados en residuos agroindustriales vegetales y animales*

Residuos agroindustriales de origen vegetal				
	PC1	PC2	PC3	PC4
Varianza explicada (%)	38.9	19.2	10.9	6.7
Varianza acumulada (%)	38.9	58.1	69.0	75.7
Ca	0.934	-0.063	0.003	0.201
NO ₃ ⁻	0.932	-0.049	-0.091	0.219
CE	0.923	-0.240	0.124	-0.006
SO ₄ ²⁻	0.913	-0.087	-0.045	-0.016
Cl ⁻	0.876	-0.127	0.166	-0.189
Mg	0.851	0.329	0.067	0.194
MO	-0.818	-0.083	-0.418	-0.298
Chidro	0.758	0.272	0.237	-0.376
K	0.729	0.162	0.416	-0.056
Cu	0.697	0.366	-0.127	0.432
IG	-0.674	-0.246	-0.474	0.036
Cd	0.657	0.364	-0.282	0.481
Corg	-0.640	-0.204	-0.244	-0.590
Polifenoles hidrosolubles	0.591	-0.217	0.567	-0.128
Zn	0.123	0.888	-0.215	-0.091
Mn	-0.199	0.854	-0.225	-0.039
P	0.235	0.784	-0.233	-0.176
C/N	-0.068	-0.741	-0.307	-0.154
Nt	0.254	0.737	0.269	-0.127
Se	-0.473	0.729	-0.257	0.074
pH	-0.050	0.729	0.149	0.256
Cr	0.089	-0.142	0.886	0.130
Ni	-0.158	-0.202	0.648	0.062
Na	0.354	0.041	0.540	0.011
Fe	0.054	0.175	0.470	0.172
Pb	-0.032	-0.080	0.198	0.633
As	0.310	-0.038	0.597	0.610
Residuos agroindustriales de origen animal				
	PC1	PC2		
Varianza explicada (%)	63.8	16.5		
Varianza acumulada (%)	63.8	80.3		
Corg	-0.974	-0.194		
Zn	0.944	0.066		
P	0.912	0.374		
K	0.909	0.375		
pH	0.907	0.004		
Mg	0.903	0.419		
Mn	0.893	0.354		
MO	-0.892	-0.414		
SO ₄ ²⁻	0.890	0.250		
Ca	0.874	0.369		
Cu	0.863	0.382		
Fe	0.791	0.589		
Ni	-0.732	0.475		
As	0.708	0.553		
Se	0.668	0.159		
Pb	0.622	-0.197		
Cd	0.618	0.610		
NO ₃ ⁻	0.561	0.317		
Na	0.519	0.468		
Nt	-0.323	-0.909		
Polifenoles hidrosolubles	0.438	0.862		
Chidro	0.217	0.862		
IG	-0.399	-0.854		
Cr	-0.049	0.849		
C/N	-0.298	0.848		
Cl ⁻	0.561	0.679		
CE	0.522	0.540		

CE: conductividad eléctrica; MO: material orgánica; Corg: carbono orgánico total; Chidro: carbono hidrosoluble; IG: índice de germinación; Nt: Nitrógeno total.

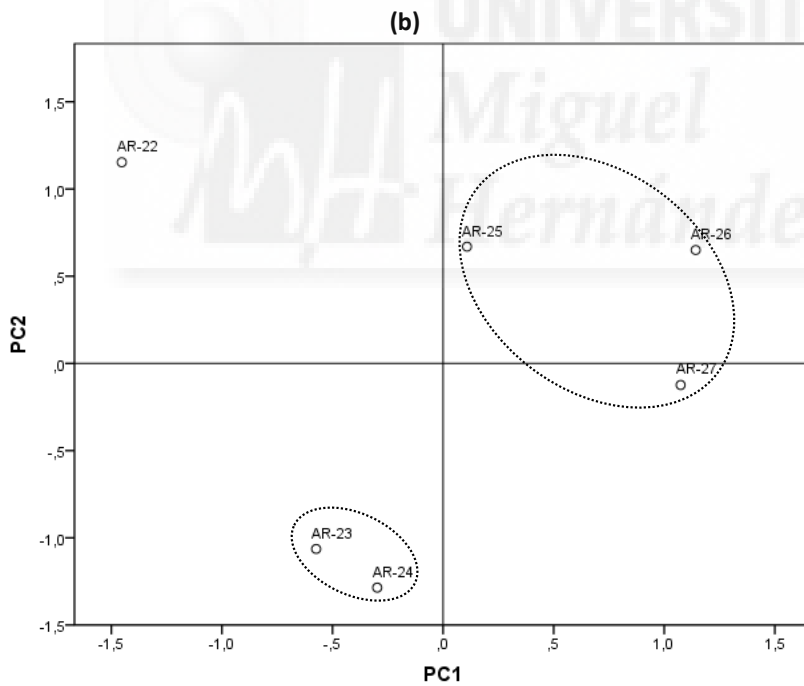
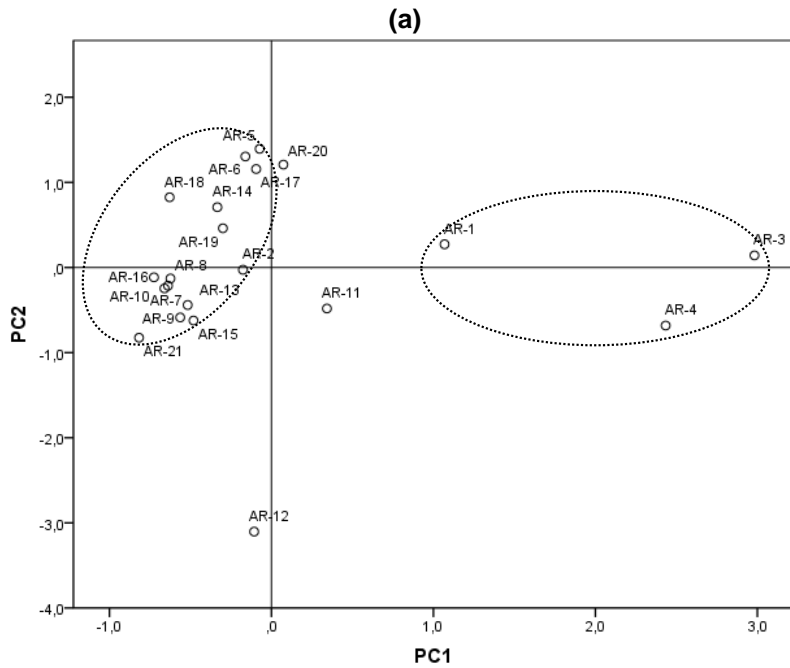
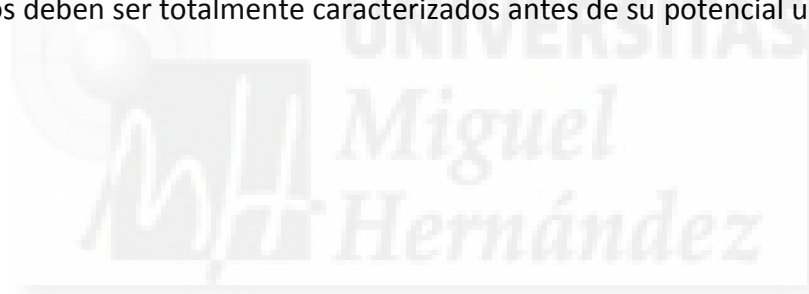


Figura 3. Resultados del análisis de factores principales (PCA) basado en los parámetros estudiados en los residuos agroindustriales (a) de origen vegetal y (b) de origen animal. Los puntos suspensivos no se dibujan sobre la base de pruebas estadísticas, sino que simplemente demuestran la separación de los residuos a lo largo de los componentes principales

5 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que, en general, los residuos agroindustriales se caracterizaron por poseer bajos valores de pH y CE y altos contenidos de materia orgánica. Los macro y micronutrientes y las concentraciones de metales pesados fueron más altos en los residuos agroindustriales de origen animal que en los de origen vegetal. Sin embargo, todos los residuos estudiados presentaron niveles de elementos potencialmente contaminantes por debajo de los límites establecidos para enmiendas orgánicas en los EE.UU. o directrices de la UE. Por lo tanto, los residuos de las agroindustrias estudiados de Chimborazo (Ecuador) pueden ser utilizados como enmiendas en suelos agrícolas para garantizar tanto su eliminación como para mejorar las propiedades del suelo. Sin embargo, el proceso de estabilización de la MO comenzaría después de la incorporación de estos residuos en los suelos, ya que la mayoría de los residuos estudiados no tenían valores de la relación C/N, Chidro e IG dentro de los límites establecidos para materiales orgánicos maduros. Este hecho hace necesario el uso de tratamientos de acondicionamiento, tales como el compostaje, antes de la utilización de estos residuos para fines agrícolas. En el análisis multivariante, los residuos estudiados podrían ser agrupados de acuerdo a sus características. Sin embargo, la gran variación en las propiedades de estos residuos y la heterogeneidad en su composición implican que estos residuos deben ser totalmente caracterizados antes de su potencial uso agrícola.



6 BIBLIOGRAFÍA

Abouelwafaa, R., Soumia, A., Salah, S., Peter, W., Victor, N., Jean Claude, R. (2008). The fulvic acid fraction as it changes in the mature phase of vegetable oil-mill sludge and domestic waste composting. *Bioresource Technology*.

Albán, J., Aguirre, M., Durán, J., Salazar, C. (2004). *Gestión Pública de los Recursos Naturales*. Quito-Ecuador: Camaren- Cosude.

Alburquerque, J., González, J., García, D., Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 91, 195-200.

Angelidake, I., Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic waste in centralized biogas plants-status and future trends. *Applied Biochemistry and Biotechnology*.

Arvanitoyannis, I. S., Tserkezou, P. (2008). Wheat, barley and oat waste: a comparative and critical presentation of methods and potential uses of treated waste. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 694-725.

Básconez, M., Alvarez, J. (2013). *Residuos orgánicos de origen ganadero*. Barcelona: Universidad Miguel hernández de Elche.

Beltrán, F., García-Araya, J., Alvarez, P. (1999). Wine distillery wastewater degradation.1. Oxidative treatment using ozone its effect on the wastewater biodegradability. *J.Agric.Food Chem*, 47, 3911-3918.

Bernal, M. (1990). Utilización de purines de cerdo en la fertilización de suelos calizos en condiciones de regadío. Murcia: CEBAS-CSIC.

Bernal, M., López, J. (2013). *Introducción a la gestión de residuos orgánicos*. Murcia: Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC.

Bernal, M., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M., Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste. *Bioresource technology*, 63, 91-99

Bernal, M., Roing, A. (1993). Nitrogen transformation in calcareous soils amended with pig slurry under aerobic incubation. *Journal of Agricultural Science*, 120, 89-97.

Bohn, H., Mcneal, B., O'Connor, G. (1995). *Química del Suelo*. Nuevo México: Limusa

Bustamante, M., Moral, R., Paredes, C., Pérez-Espinoza, A., Moreno-Caselles, J., Pérez-Murcia, M. (2008). Agrochemical characterisation of the soil by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*, 28, 372-380

Bustamante, M., Perez-Murcia, M., Paredes, C., Moral, R., Perez-Espinoza, A., Moreno-Caselles, J. (2007). Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. *Bioresource Technology*, 98, 3269-3277

Carrillo, D. (2009). <http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/ALIMENTOS.pdf>. Recuperado el 10 de Febrero de 2013

Carrillo, L. (2003). Microbiología Agrícola. Argentina: Universidad Nacional de Salta

Casanellas, J. P., Acevedo Reguerin, M. L. (2011). Introducción a la Edafología. Cataluña, España: Ediciones Mundi- Prensa

Cegarra, J., Paredes, C. (2008). Residuos agroindustriales. En: Compostaje. (Eds.) Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 519-552.

CEPAL. (2010). Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean. Santiago, Chile - United Nations: United Nations Publication

Chapman, H., Johnson, Z. (2002). Use of antibiotics and roxarsone in broiler chicken in the USA: analysis for the years 1995 to 2000. Poultry Science, 81, 356-364

Dommergues, Y., Mangenot, F. (1970). Ecologie microbienne su sol. Paris: Masson et Cie

DNP (2014). Análisis de cadenas productivas: Cadena molinería. Información accesible en: <https://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/DDE/Molineria.pdf>

EEUU (2001). [http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field Guide to Compost Use.pdf](http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field%20Guide%20to%20Compost%20Use.pdf). Recuperado el 8 de Marzo de 2013

Eldanil, A., Rabie, R., Magid, H., Sabrah, R., Abdelaal, S. (1995). Chemical, physicochemical and microbiological examination of town refuse compost and chicken manure as organic fertilizers. Journal of Arid Environments, 20, 107-113

Elias, X. (2009). Valorización de residuos procedentes de grandes industrias. En: Reciclaje de residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. (Ed.) Elias, X. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. pp 533-636.

EPA-EEUU (1993). Federal Register, 40 CFR Part 503. Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge: Final Rules, Washington DC, USA.

ESPAC. (2011). web http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/INFORME_EJECUTIVO%202011.pdf. Recuperado el 11 de Enero de 2013

Comisión Europea. (2001). http://www.compost.it/www.pubblicazioni_on_line/biod.pdf Working Document on Biological Treatment of Biowaste. Recuperado el 8 de Marzo de 2013

FAO. (2012). <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>. Recuperado el 13 de Marzo de 2013

Fenchel, T., King, G., Blackburn, T. (2000). Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling (Vol. 2da ed). San Diego: Academic Press

González González, G., González Doncel, I. (1999). Residuos Forestales y alimentación ganadera. Invest.Agr.: Sist.Rec.For

ILAC. (2004). Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible: Indicadores de Seguimiento. Costa Rica

INEC. (2011). <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>. Recuperado el 25 de Enero de 2013

INEC. (2013). www.inec.gob.ec/estadisticas. Recuperado el 30 de Julio de 2013

IPCC. (2007). Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suecia: IPCC

Kebread, E., France, J., Kwakkel, R., Leeson, S., Kuhl, H., Dijkstra, J. (2009). Development and evaluation of a dynamic model of calcium and phosphorus flows in layers. *Poultry Science*, 88, 680-689

Kitson, R., Mellon, M. (1944). Colorimetric determination of P as molybdovanado phosphoric acid. *Eng Chem Anal Ed*, 16, 379-383

Liyana-Pathirana, C.M., Sahidi, F. (2006). Antioxidant activities of commercial soft and hard winter wheats (*Triticum aestivum* L.) and their milling fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 477-485.

López, M., Boluda, R. (2008). *Residuos agrícolas*. Ed. Mundi Prens

Martínez- Farré, F. (1995). *Materiales y sustratos*. Revista Hortícola, 103

Martínez, F. (2006). http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm. Recuperado el 14 de Febrero de 2013

Mekki, A., Dhouib, A., Sayadi, S. (2007). Polyphenols dynamics and phytotoxicity in a soil amended by olive mill wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 84, 134-14

Melgar, R., Pascual, A. (2010). Characterization and use of a vegetable waste vermicompost as an alternative component in substrates for horticultural seedbeds. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1174-1182

Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad. (2011). *Agendas para la Transformación Productiva Territorial*. Provincia de Chimborazo. Quito

Mizota, C. (1997). Phosphorus fixation by andosols difference in their clay mineral composition. *Soil Sci. Plantarum Nature*, 23, 311-318

Navarro Pedreño, J., Moral, R., Gómez, I., Mataix, J. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante.

Navarro, A. (1991). An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in waste. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, 22, 2137-2144

Navarro, A., Cegarra, J., Roing, A., Bernal, M. (1991). An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, 22, 2137-2144

Navarro, A; Cegarra, J; Roing, A; García, D. (1993). Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresource Technology*, 44, 203-207

Nicholson, F., Groves, S., Chambers, B. (2005). Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Bioresource Technology*, 96, 135-143

Ohmiya, K., Sakka, K., Kimura, T. (2005). Anaerobic bacterial degradation for the utilization of biomass. *Biotechnol. Biotechnol. Bioprocess Eng*

OMS. (1997). Available at <http://www.who.int/es/>.

Paredes, C., Cegarra, J. (2012). *Residuos orgánicos de origen agroindustrial*. Murcia: Universidad Miguel Hernández de Elche.

Paredes, C., Cegarra, J., Roing, A., Sanchez-Monedero, M., Bernal, M. (1999). Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sudge for agricultural purposes. *Bioresource Technology*, 67, 111-115.

Paula, L., Trugilho, P., Napoli, A., Bianchi, M. (Jun de 2011). Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *CERNE*, 17, 237-246.

PNUMA. (2000). http://www.unep.org/yearbook/2010/PDF/UNEP_ES_2010_low.pdf Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Recuperado el 10 de Enero de 2013

PNUMA. (2000). http://www.unep.org/yearbook/2010/PDF/UNEP_ES_2010_low.pdf Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Recuperado el 10 de Enero de 2013

PNUMA. (2010). <http://www.eclac.org/rio20/tpl/docs/5.DesSost.Julio2002.pdf>. Recuperado el 12 de Enero de 2013

PNUMA. (2010). <http://www.eclac.org/rio20/tpl/docs/5.DesSost.Julio2002.pdf>. Recuperado el 12 de Enero de 2013

Porta, J., López-Acevedo, M., Ponch, R. (2011). *Introducción a la Edafología (Segunda ed.)*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Porta, J., López-Acevedo, M., Ponch, R. (2011). *Introducción a la Edafología (Segunda ed.)*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Romera, M. (2013). www.infoagro.com Agricultura Ecológica. Recuperado el 25 de Mayo de 2013

Romera, M. (2013). www.infoagro.com Agricultura Ecológica. Recuperado el 25 de Mayo de 2013

Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del suelo*. Montevideo-Uruguay: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del suelo*. Montevideo-Uruguay: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Rusell, E. (1978). *Soil conditions and plants growth*. New York: Longman.

Rusell, E. (1978). *Soil conditions and plants growth*. New York: Longman.

Salwa, M., Raja, J., Béchir Ben, R., Makki, B., Emna, A. (2012). A yearly spraying of olive mill wastewater on agricultural soil over six successive years: Impact of different application rates on olive production, phenolic compounds, phytotoxicity and microbial counts. *Science of the Total Environment*, 209-216.

Salwa, M., Raja, J., Béchir Ben, R., Makki, B., Emna, A. (2012). A yearly spraying of olive mill wastewater on agricultural soil over six successive years: Impact of different application rates on olive production, phenolic compounds, phytotoxicity and microbial counts. *Science of the Total Environment*, 209-216.

Sanchez-Monedero, M., Roing, A., Mar Pardo, C., Cegarra, J., Paredes, C. (1996). A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresource Technology*, 57, 291-295.

Sanchez-Monedero, M., Roing, A., Mar Pardo, C., Cegarra, J., Paredes, C. (1996). A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic

Sanz, I., Piñeiros, V. (2003). *Centro de Innovación y servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia (Vol. X)*

Sanz, I., Piñeiros, V. (2003). *Centro de Innovación y servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia (Vol. X)*.

Solé, M., Flotas, R. (2004). *Guía de Técnicas de Gestión Ambiental de Residuos Agrarios*. Lleida: Fundación Catalana de Cooperación.

substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresource Technology*, 57, 291-295.

Tamhane, R., Montiramani, Y., Donahue, R. (1979). *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. México: Diana.

Thassitou, P., Arvanitoyannis, I. (2001). Bioremediation: a novel approach to food waste management. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 185-196.

Tronina, P., Bubel, F. (2008). Production of organic fertilizer from poultry feather wastes excluding the composting process. *Polish Journal of Chemical Technology*, 10, 33-36.

Troy, S., Witold Kwapinski, T., Leahy, J., Healy, M., Lawlor, P. (2012). Effect of sawdust addition on composting of separated raw and anaerobically digested pig manure. *Journal of Environmental Management*, 111, 70-77.

Zaha, C., Manciulea, I., Sauciuc, A. (Sep de 2011). Reducing the volume of waste by composting vegetable waste, sewage sludge and sawdust. *Environmental Engineering and Management Journal*, 10, 1415-1423.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22, 54-57.



7 ANEXO I: MÉTODOS ANALÍTICOS

Preparación de la muestra

La muestra recogida se separa en dos submuestras, una de ellas es secada al aire y molida en un molino a través de una malla de 0,5 mm de luz y la otra se congela, para posterior análisis del nitrógeno amónico.

Humedad operativa

Se toma como humedad el porcentaje de agua con respecto a muestra húmeda, por diferencia de pesadas entre material húmedo y seco.

- Procedimiento

Se pesan de 1-3 g de muestra seca al aire y molida, en un pesa-sustancias de peso conocido. Se calienta a 105°C durante 12 horas. Se deja enfriar en desecador y se pesa. La pérdida de peso se da como humedad, expresando el resultado como porcentaje respecto a peso de muestra húmeda. Todos los demás datos que se obtengan, se corregirán con este valor, para referirlos a peso seco. Se denomina humedad operativa.

Humedad original

Se determina de igual forma que la humedad operativa, pero pesando de 5-10 g de muestra fresca.

Residuo a calcinación (cenizas)

Se determina según el método de (Navarro, A; Cegarra, J; Roing, A; García, D, 1993) se toma como cenizas el residuo fijo obtenido de la calcinación de la muestra a 430°C.

- Procedimiento

Se pesan de 1-3 g de muestra en un crisol de peso conocido. Se calina por espacio de 24 horas a 430°C, se deja enfriar en desecador y se pesa. El contenido en "cenizas" se expresa en porcentaje respecto de muestra seca.

Pérdida de peso por calcinación

Se toma como "materia orgánica" la pérdida de peso por calcinación a 430°C. Se procede igual que como en la determinación de las cenizas. La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca.

Medida del pH

El pH se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro.

La determinación del pH se basa en la medida de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia calomelanos (Hg_2Cl_2 (sat), $\text{KCl}(x\text{F})/\text{Hg}$) sumergidos en una misma disolución. Esta diferencia de potencial es función lineal de la actividad de los iones hidrógeno presentes en la muestra problema a una temperatura dada.

Conductividad eléctrica

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro con una célula conductimétrica.

La conductividad eléctrica de un extracto acuoso es la aptitud que presenta éste para transmitir la corriente eléctrica. La conductividad depende de la actividad e iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. Para medir la conductividad se hace uso de un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada, comparando a la misma temperatura, la resistencia eléctrica de la muestra y la de una disolución estándar de cloruro potásico.

Carbono orgánico total y Nitrógeno total

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental (Navarro, 1991).

- Reactivos

Muestra sintética de C y N

- Procedimiento

Se pesan de 0,1 a 0,15 g de muestra seca, con precisión de 0,0001 g, en una cápsula de estaño y se introduce en el analizador previamente calibrado con una muestra sintética de C y N.

Carbono hidrosoluble

Extracción de la muestra con agua y determinación del carbono extraído en un analizador elemental, según la técnica (Sánchez- Monedero et al., 1996).

- Procedimiento:

Se realiza una extracción con agua en la proporción 1:20, sólido/líquido. Se agita mecánicamente durante 2 horas y se centrifuga. El líquido sobrenadante se pasa a través de una malla de fibra sintética, para eliminar las partículas sólidas que pudieran quedar

flotando. Se introducen 25 mL del extracto en viales y se procede a la medida del carbono, calibrando el analizador con Na_2CO_3

Mineralización de la muestra

Digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero (1969).

- Reactivos
 - Ácido nítrico concentrado (d = 1,33)
 - Ácido perclórico 60 %
 - Ácido clorhídrico 0,5 N
- Procedimiento

En un tubo de digestión de doble enrase de 50 mL se pesa 0,5 g de muestra seca al aire y molida a través de una malla de 0,5 mm de luz, con una precisión de 0,0001 g. Se añaden 6 mL de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar durante toda la noche. Se calienta a 150°C durante 1 hora y a 210°C durante 2 horas en bloque digestor. Las paredes y fondo se lavan con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 mL y a continuación se filtra con papel lavado a los ácidos.

Fósforo total

Se determina por medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración amarilla producida por el complejo fosfovanadato molibdato amónico (Kitson y Mellon, 1944), obtenida sobre una fracción del extracto de mineralización.

- Reactivos

Fosfato monopotásico

Reactivo A:

- Molibdato amónico 100 g
- Hidróxido amónico (c) 10 ml
- Agua desionizada hasta 1 l

Reactivo B:

- Metavanadato amónico 2,35 g
- Ácido nítrico (c) 7 ml
- Agua desionizada hasta 1 l

Reactivo C:

- Reactivo (A) 100 ml
- Reactivo (B) 100 ml
- Ácido nítrico. 97 ml
- Agua desionizada hasta 1 l

- Procedimiento

Curva patrón: se pesan exactamente 4,3937 g de fosfato monopotásico R.A. seco y se llevan hasta 1 L con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1 mg de fósforo por ml. Se toman exactamente 10 mL de esta disolución y se llevan hasta 250 mL en matraz aforado con agua desionizada. Esta nueva disolución contiene 4 mg de fósforo por 100 ml.

En tubos de ensayo se ponen: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mL de la disolución anterior, se añaden 5, 4, 3, 2, 1 y 0 mL de agua desionizada respectivamente y se mezcla bien. Estas disoluciones son equivalentes a muestras de extracto que contengan: 0, 0,8, 1,6, 2,4, 3,2 y 4 mg de fósforo por 100 mL de extracto o bien 0, 8, 16, 24, 32 y 40 ppm de fósforo. Se agrega a cada uno de los tubos 5 mL de disolución de reactivo C y se mezclan bien. Se hace la lectura como se indica a continuación, para las muestras.

Determinación de fósforo: se toman 5 mL del extracto de mineralización de la muestra y se agregan 5 mL de la disolución del reactivo C, se mezcla bien y se deja en reposo durante 10 minutos. Pasado este tiempo, se mide la absorbancia frente a agua desionizada en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460 nm.

Sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, cinc, níquel, cromo, cadmio, plomo, arsénico y selenio

Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo.

Índice de germinación

Se determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas de *Lepidium sativum* L., incubadas sobre un extracto acuoso de compost (Zucconi et al., 1985).

- Reactivos:

Etanol 50 %

- Procedimiento

Se humedece el material hasta alcanzar un 60% de humedad y se deja 30 minutos en reposo. Se añaden 13,5 mL de agua desionizada por gramo de muestra seca, para diluir el extracto anterior hasta el 10% y se filtra con un filtro de membrana celulósica de 0,45 µm de diámetro de poro, para limpiar el extracto.

Se añaden 1 mL del extracto acuoso en placas Petri de 10 cm de diámetro, cubiertas con papel de filtro y con 8 semillas de *Lepidium sativum* L., se hacen 10 repeticiones. Las semillas se incuban a 27°C durante 48 horas en la oscuridad. Transcurrido este tiempo, se añade 1 mL de etanol al 50 % para parar el crecimiento de las

raíces. Se cuenta el número de semillas germinadas y se mide la longitud de las raíces por placa. Se expresan ambas en porcentaje respecto del control, hecho con agua desionizada.

Los resultados son expresados como índice de germinación (IG), el cual se obtiene al multiplicar el porcentaje de germinación (G) por el porcentaje de crecimiento de las raíces (L) y dividir por cien.

$$IG = (\%G) (\%L) / 100$$

Polifenoles solubles.

Se determinan los polifenoles solubles presentes en los sustratos residuales del cultivo de hongos comestibles, mediante extracción acuosa en relación 1:20 y determinación por medio de una modificación del método Folin (Beltran et al., 1999).

- Reactivos
 - Ácido gálico
 - Reactivo Folin-Ciocalteu de fenoles (R.A.)
 - Carbonato sódico 20 %
- Procedimiento

Se pesan 2 g del residuo seco y homogeneizado y se le añaden 40 mL de agua desionizada y se agita durante 2 horas. Después de la agitación, se centrifuga a 3000 rpm 5 minutos. El extracto obtenido se emplea para la determinación de los polifenoles solubles.

Curva patrón: Se pesan 1 g de ácido gálico y se llevan a 1 L con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1000 ppm de ácido gálico. De esta disolución se toman exactamente 6 mL y se llevan a 100 mL con agua desionizada. Esta disolución contiene 60 ppm de ácido gálico. En matraces aforados de 50 mL se toman: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mL de la disolución anterior y se le adicionan 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu. Se agita para homogeneizar y después de 3 minutos, se añaden 5 mL de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se mueve para eliminar las burbujas generadas y se lleva a enrase con agua desionizada. Estas disoluciones contienen: 0 ; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8 y 6 ppm de ácido gálico y se procede de igual forma que para las muestras problema.

Determinación de fenoles: Se toman 0,5 mL de disolución acuosa de polifenoles (un volumen mayor si hay pocos polifenoles) y 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se agita y después de 3 minutos se añaden 5 mL de Na₂CO₃ 20 %. Se lleva el volumen a 50 mL con agua desionizada, se mezcla todo bien y después de 1 hora de reposo se mide la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, calculándose la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.

Aniones solubles

Extracción con agua desionizada de la muestra y medida en un cromatógrafo iónico HPLC.

- Reactivos

- n-butanol
- Acetonitrilo
- Gluconato de sodio
- Ácido bórico
- Tetraborato de sodio
- Glicerina
- Cloruro de sodio
- Nitrato de sodio
- Sulfato de sodio
- Dihidrogenofosfato de potasio

Fase móvil:

- 32 mL de disolución borato/gluconato, 20 mL de n-butanol y 120 mL de acetonitrilo
- Disolución de borato/gluconato:
- 4 g de gluconato de sodio, 4,5 g de ácido bórico, 6,24 g de tetraborato de sodio y 62,5 mL de glicerina enrasar a 500 mL con agua calidad HPLC

- Procedimiento

Se realiza una extracción de la muestra con agua desionizada en la proporción 1:20, sólido/líquido. Se agita mecánicamente durante 2 horas, se centrifuga y se filtra a través de un sep-pack PLUS C18, para eliminar la materia orgánica soluble, y después se filtra con un filtro de nailon de 0,45 μm .

Se toman 100 μl de la muestra diluida en la proporción 1:10 con agua desionizada, calidad HPLC, y se inyecta en el cromatógrafo iónico, empleando como fase móvil la preparada con disolución gluconato/borato, n-butanol y acetonitrilo. El cromatógrafo previamente se calibra con disoluciones de NaCl, NaNO₃, Na₂SO₄ y KH₂PO₄ recientemente preparada que contenga las siguientes concentraciones de cada uno de estos iones:

Tabla 10. *Preparación de las soluciones patrón para la determinación de aniones*

Patrón	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
1	300	10	30	1
2	250	7	60	2
3	200	4	90	5
4	150	2	120	10
5	120	1,5	150	15
6	90	1	200	20
7	50	0,5	250	25
8	20	0,1	300	30

Para preparar estas disoluciones patrón se pesan 1,6485 g de NaCl, 1,3708 g de NaNO₃, 1,4790 g de Na₂SO₄ y 1,4328 g de KH₂PO₄ y se enrasan a 1 L con agua desionizada, calidad HPLC, en disoluciones individuales. Cada una de estas disoluciones contiene 1000 mg/L del anión correspondiente. Se preparó una disolución de 100 mg/L de NO₃⁻, para ello se tomaron 10 mL de la disolución de 1000 mg/L y se enrasó a 100 mL con agua desionizada, calidad HPLC. A partir de las disoluciones concentradas anteriores se prepararon cada una de las disoluciones patrón de la tabla anterior operando de la siguiente manera:

Tabla 11. *Preparación de las disoluciones patrón para la determinación de aniones*

Patrón	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Agua desionizada (HPLC)	
mg/L	1000	100	1000	1000	1000	
1	30 mL		1 mL	3 mL	0,1 mL	Enrase a 100 mL
2	25 mL		0,7 mL	6 mL	0,2 mL	Enrase a 100 mL
3	20 mL		0,4 mL	9 mL	0,5 mL	Enrase a 100 mL
4	15 mL		0,2 mL	12 mL	1 mL	Enrase a 100 mL
5	12 mL		0,15 mL	15 mL	1,5 mL	Enrase a 100 mL
6	9 mL	1 mL		20 mL	2 mL	Enrase a 100 mL
7	5 mL	0,5 mL		25 mL	2,5 mL	Enrase a 100 mL
8	2 mL	0,1 mL		30 mL	3 mL	Enrase a 100 mL

8 ANEXO II: FOTOGRAFÍAS DE LAS AGROINDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

INDUSTRIA MADERERA BUENAÑO



EMPRESA HUERTOS G.Z GATAZO ZAMBRANO



EMPRESA MOLINOS FÉNIX



INVERNADERO SAN MARTÍN



EMPRESA HERMANOS RICAURTE



EMPRESA FLORÍCOLA WHITE RIVER ROSES



DISTRIBUIDORA AVÍCOLA EL CISNE





EMPRESA AVÍCOLA SAN GERARDO



EMPRESA AVÍCOLA LOS ELENES



EMPRESA AVÍCOLA LA INMACULADA





CAMAL MUNICIPAL DE RIOBAMBA



Hernández

TABLA DE CONTENIDOS

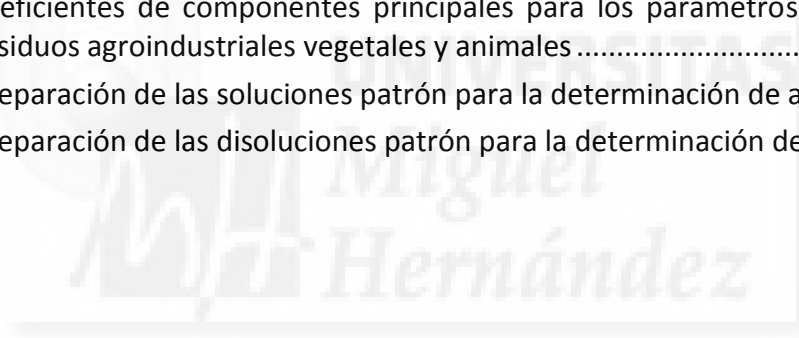
1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS AL SUELO	1
1.1.1	Participación de la materia orgánica en la formación del suelo	1
1.1.2	Características físicas.....	4
1.1.3	Características químicas	5
1.1.4	Características biológicas	7
1.1.5	Utilización de residuos orgánicos en agricultura	9
1.1.6	Riesgos medioambientales de la aplicación de residuos al suelo	11
1.2	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	15
1.2.1	Situación de la agroindustria en la zona de estudio.....	16
1.2.2	Residuos agroindustriales de origen vegetal.....	18
1.2.2.1	Producción.....	18
1.2.2.2	Residuos de las industrias de transformados vegetales	20
1.2.2.3	Residuos de la industria de producción de harinas de cereales	21
1.2.2.4	Residuos de la industria agroforestal.....	22
1.2.3	Residuos agroindustriales de origen animal	23
1.2.4	Gestión y aprovechamiento de los residuos agroindustriales	25
2	OBJETIVOS Y SÍNTESIS	34
3	MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1	DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3.1.1	Diseño del experimento	35
3.1.2	Datos del Experimento	36
3.1.3	Toma y preparación de las muestras	36
3.1.4	Parámetros analizados	36
3.2	DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	37
3.2.1	Muestreo de los residuos agroindustriales	37
3.2.2	Métodos Analíticos y Estadísticos	39
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
4.1	CARACTERIZACIÓN.....	40
4.1.1	Parámetros físico-químicos	40
4.1.2	Parámetros relacionados con la materia orgánica.....	42

4.1.3	Macronutriente, micronutrientes y sodio	43
4.1.4	Compuestos potencialmente tóxicos y fitotoxicidad	45
4.1.5	Análisis factorial de los resultados	47
5	CONCLUSIONES	51
6	BIBLIOGRAFÍA	52
7	ANEXO I: MÉTODOS ANALÍTICOS	58
8	ANEXO II: FOTOGRAFÍAS DE LAS AGROINDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Macro y Micronutrientes del suelo necesarios para las plantas	6
Tabla 2.	Distribución de los microorganismos en un suelo expresado como miles por gramo.....	9
Tabla 3.	Calidad ambiental para las clases compost y los residuos orgánicos estabilizados	29
Tabla 4.	Límites de contaminantes químicos en biosólidos para su aplicación al suelo (mg/kg, sms)	32
Tabla 5.	Origen y características generales de los residuos agroindustriales	38
Tabla 6.	Características físico-químicas y químicas de los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal.....	41
Tabla 7.	Macro y micronutrientes y contenidos de sodio en los residuos agroindustriales de origen animal y vegetal.....	44
Tabla 8.	Contenidos de elementos potencialmente tóxicos en los residuos agroindustriales de origen vegetal y animal.....	46
Tabla 9.	Coeficientes de componentes principales para los parámetros estudiados en residuos agroindustriales vegetales y animales	49
Tabla 10.	Preparación de las soluciones patrón para la determinación de aniones	63
Tabla 11.	Preparación de las disoluciones patrón para la determinación de aniones	64



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de producción de harinas de diferentes cereales.....	22
Figura 2.	Localización geográfica de los cantones de la provincia de Chimborazo.....	35
Figura 3.	Resultados del análisis de factores principales (PCA) basado en los parámetros estudiados en los residuos agroindustriales (a) de origen vegetal y (b) de origen animal. Los puntos suspensivos no se dibujan sobre la base de pruebas estadísticas, sino que simplemente demuestran la separación de los residuos a lo largo de los componentes principales.....	50

